corso di
RADIOTECNICA

pubblicazione settimanale - 18 - 25 febbraio 1961 - un fascicolo lire 150 21° numero

corso di
RADIOTECNICA

settimanale a carattere culturale

Direzione, Amministrazione, Pubblicità:
Via dei Pellegrini 8/4 - Telef. 593.478

MILANO

Ogni fascicolo — contenente 3 lezioni — costa lire 150, acquistato alle edicole.

Se l'edicola risulta sprovvista, o si teme di rimanere privi di qualche numero, si chieda invio settimanale direttamente al proprio domicilio a mezzo abbonamento.

Il versamento per ricevere i 52 fascicoli costituenti l'intero Corso è di lire 6500 + I.G.E. = lire 6630. A mezzo vaglia postale, assegno bancario, o versamento sul conto corr. postale 3/41.203 del « Corso di RADIOTECNICA » - Via dei Pellegrini 8-4 - Milano.

In ogni caso, scrivere in modo molto chiaro e completo il proprio indirizzo.

L'abbonamento può essere effettuato in qualsiasi momento; si intende comprensivo delle lezioni pubblicate e dà diritto a ricevere tali lezioni, che saranno inviate con unica spedizione.

Estero: abbonamento al Corso, Lit. 8.500. ($ 15). Numeri singoli Lit. 300 ($ 0,50).

Per i cambi di indirizzo durante lo svolgimento del Corso, unire lire 100, citando sempre il vecchio indirizzo.

Fascicoli singoli arretrati — se disponibili — possono essere ordinati a lire 300 cadauno.

Non si spedisce contrassegno.

Distribuzione alle edicole di tutta Italia: Diffus. Milanese . Via Soperga, 57 - Milano.

Direttore responsabile: Giulio Borgogno.

Autorizzaz. N. 5357 - Tribunale di Milano.

Stampa: Intergrafica S.r.l. - Cologno Monzese.

La Direzione non rivende materiale radio; essa può comunicare, se richiesta, indirizzi di Fabbricanti, Importatori, Grossisti ecc. in grado di fornire il necessario ed ai quali il lettore può rivolgersi direttamente.

Alla corrispondenza con richiesta di informazioni ecc. si prega allegare sempre il **francobollo per la risposta**.

Parte del testo e delle illustrazioni è dovuta alla collaborazione del Bureau of Naval Personnel, nonchè al Dept. of the Army and the Air Force - U.S.A.

A chi può essere utile questo Corso? Anzitutto — stante la sua impostazione — il Corso, basato sull'esposizione in forma a tutti accessibile, della radiotecnica, dai suoi elementi basilari alla evoluzione più recente, rappresenta la forma ideale per tutti coloro che intendono dedicarsi all'elettronica, sia come forma ricreativa sia — soprattutto — per l'acquisizione di una professione specializzata che possa procurare loro una posizione di privilegio in seno alla società odierna.

Anno per anno, la nostra civiltà si indirizza sempre più verso questa meravigliosa, si potrebbe dire fascinosa, elettronica, che nel modo più evidente consente sviluppi impensati, progressi grandiosi e una rapida evoluzione di tutti gli altri rami dello scibile che essa tocca e influenza.

L'industria, tutta l'industria, nel senso più ampio, da quella elettrotecnica a quella meccanica, alla metallurgica, alla chimica ecc., con i suoi laboratori di ricerca e le sue fabbriche richiede, e richiederà sempre più, con un ritmo rapidamente crescente, tecnici specializzati con conoscenza dell'elettronica, tecnici specificatamente elettronici e persino operai e impiegati di ogni ordine e categoria con cognizioni di elettronica.

Si può dire che anche le branche commerciali, quelle dei trasporti e persino quelle amministrative con le recenti introduzioni delle calcolatrici, abbisognano di personale che conosca i principi dell'elettronica, le macchine relative, il loro pieno sfruttamento, la eventuale riparazione ecc. e, quanto più in modo completo, quanto meglio.

Nasce, da una tale situazione, una logica conseguenza: per la scelta di una professione o di un mestiere, per un miglioramento della propria posizione sociale, per l'intrapresa di una libera attività o anche per la sola acquisizione di cognizioni che indubbiamente verranno oltremodo utili, è quanto mai opportuno riflettere se non sia conveniente dedicare un po' di tempo allo studio di questa scienza che ha tra l'altro il pregio di rendersi immediatamente attraente, concreta, accessibile e foriera di moltissime soddisfazioni.

A questo scopo appunto, e con questi intenti, è stato redatto questo Corso.

Non mancano invero altri corsi (specie per corrispondenza) o scuole di radiotecnica, nè mancano (sebbene siano in numero del tutto inadeguato) scuole statali o pareggiate ma la struttura e l'impostazione che caratterizzano queste 156 lezioni sono alquanto particolari, presentando non pochi vantaggi sulle diverse altre forme di cui si è detto.

Anzitutto vogliamo porre in evidenza **il fattore economico.**

Frequentare regolarmente, durante tutto l'anno, una scuola è certo il modo più logico — anche se non il più rapido — per apprendere ma, tralasciando il fatto che rarissimi sono gli Istituti di radiotecnica, è a tutti possibile dedicarsi esclusivamente, e per l'intero anno, allo studio? Noi riteniamo che chi può farlo costituisca oggi assai più l'eccezione che la regola. Ciò significa infatti poter disporre liberamente del proprio tempo senza avere la necessità di un contemporaneo guadagno: il nostro Corso permette a chiunque di studiare a casa propria, nelle ore libere dal lavoro, senza abbandonare o trascurare quest'ultimo. Ciò caratterizza invero anche altri corsi, ma il vantaggio economico diviene notevole ed evidentissimo se si considera che di fronte all'esborso, anche se rateale, di quasi 80.000 lire che i corsi per corrispondenza richiedono, seguendo il nostro Corso la spesa in un anno risulta di poco più di 7500 lire (150 lire alla settimana presso un'edicola) o di 6630 lire totali, con recapito postale, settimanale, delle lezioni a domicilio.

E' superfluo dire che la Modulazione di Frequenza, i transistori, i circuiti stampati, la trasmissione, il telecomando ecc. sono argomenti integrali del Corso e non costituiscono motivo di corsi speciali, aggiunti o particolari.

Le lezioni di questo Corso — a differenza di molte altre — non sono stampate con sistemi di dispensa, a ciclostile, o con sistemi più o meno analoghi, derivanti cioè da un originale battuto a macchina da scrivere; esse sono stampate in uno stabilimento grafico, con chiari caratteri tipografici da cui deriva una assai più agevole lettura e — fattore certamente di non secondaria importanza — un contenuto molto più ampio, corrispondendo una pagina a stampa a tre o quattro pagine di quelle citate. Il lettore avrà, alla fine del Corso, un volume di ben 1248 pagine di grande formato!

Chiunque, indipendentemente dall'età, dalla professione e dalle scuole compiute **può seguire il Corso.** Alle esposizioni teoriche si abbinano numerose, attraenti, istruttive ed utili descrizioni che consentono la realizzazione di ricevitori, amplificatori, strumenti vari e persino di trasmittenti su onde corte.

A questo proposito è sintomatico il fatto che la Direzione non vuole assolutamente assumere la fisionomia di un fornitore o commerciante di materiale radio, rivendendo agli allievi le parti necessarie. Il materiale occorrente l'interessato può acquistarlo dove e come meglio crede e, assai spesso anzi, già ne dispone. Viene così evitato l'acquisto forzoso, caratteristico più o meno di tutti gli altri corsi.

Anche chi è già radiotecnico, anche chi ha seguito o segue altri corsi troverà il massimo tornaconto in questo completo ed aggiornato lavoro. Molte nozioni, è logico, saranno note, altre un po' meno e sarà utile rinfrescarle, e il tutto infine costituirà un manuale di consultazione, prezioso tanto per la teoria esposta quanto per i numerosi schemi, per le tabelle, per i grafici, gli elenchi, i dati, il vocabolario dei termini ecc.

Concludendo, si può affermare che questo **Corso di Radiotecnica** oltre che come insegnamento graduale si presenta come **enciclopedia e rivista assieme** ciò che permette di formare — con modestissima spesa — **il più completo, ricco, utile e pratico volume di radiotecnica di cui sia dato oggigiorno disporre.**

MODULAZIONE e DEMODULAZIONE

Sinora, ogni volta che si è presentata la necessità di citare il fenomeno della modulazione — quel particolare accorgimento mediante il quale si rende possibile utilizzare un'onda portante per trasmettere voci e suoni — ci siamo limitati ad un vero e proprio cenno, senza dare cioè una spiegazione analitica dei sistemi, delle caratteristiche e delle particolarità che caratterizzano questa tecnica.

Nel corso di questa lezione esamineremo il problema un po' più da vicino, specialmente riferendoci ai vantaggi ed agli inconvenienti dei diversi sistemi possibili posti a confronto tra loro. Pur non essendo più un semplice cenno, quanto esporremo non chiuderà tuttavia, l'argomento: infatti, dovremo occuparci ulteriormente della modulazione sia allorchè tratteremo della trasmissione, sia allorchè (e sarà tra non molto) ci interesseremo di uno dei più attuali sistemi, quello detto a « modulazione di frequenza ».

A questo punto, affinchè l'argomento possa essere esposto con la chiarezza necessaria ad una integrale comprensione, dobbiamo necessariamente richiamare concetti già noti, perchè è proprio ai loro immediati riferimenti che fa capo la spiegazione dei singoli sviluppi tecnici.

CARATTERISTICA dell'ONDA PORTANTE

Il segnale a radiofrequenza usato per trasmettere impulsi sonori da un punto ad un altro è chiamato, dunque, « onda portante ». Esso consiste in un'onda elettromagnetica che presenta ovviamente una data ampiezza, una propria frequenza ed una data fase. Se le variazioni di tensione di un segnale a radiofrequenza vengono rappresentate graficamente in funzione del tempo, il risultato è la nota forma d'onda illustrata alla **figura 1.** La figura rappresenta un'onda portante non modulata; è, evidentemente, identica alle forme che abbiamo incontrato nell'analisi delle variazioni di corrente, di tensione, ecc., e può essere efficacemente impiegata per studiare le caratteristiche generali dell'onda portante stessa. L'onda portante non modulata non è altro che un'onda sinusoidale che si ripete ad intervalli di tempo definiti. Il potenziale sale prima al massimo valore positivo per scendere poi al massimo valore negativo, nei riferimenti dell'asse del tempo, ed ogni sinusoide rappresenta variazioni di ampiezza dell'onda. Il fenomeno è identico a quello descritto a suo tempo a proposito della corrente alternata in un conduttore, ove le varie ondulazioni rappresentano le inversioni di direzione del flusso di corrente. E' necessario ricordare che i segni « più » e « meno » indicano unicamente la direzione.

Il punto di partenza della curva di figura 1 è stato scelto arbitrariamente; avrebbe potuto essere scelto in qualunque altro punto dell'onda, col medesimo risultato. Tuttavia, una volta scelto il punto di partenza, esso rappresenta anche il punto nel quale ha inizio la misura del tempo considerato. Nel nostro caso esso si trova nel punto culminante di una semionda positiva, dopo di che la curva raggiunge il massimo potenziale negativo passando attraverso il valore 0, per poi ritornare al punto di partenza, attraversando nuovamente il punto di 0. Le variazioni di ampiezza che si verificano in questo intervallo di tempo si ripetono sempre nella stessa entità e nello stesso modo se l'onda non è modulata. La serie completa di punti che esprimono l'ampiezza in ogni istante di detto periodo di tempo, indipendentemente dal punto di partenza, costituisce un ciclo o periodo dell'onda portante. Ciò può essere verificato nella figura, nella quale sono indicati due cicli con due differenti punti di partenza: il numero di cicli che si verifica in un secondo (Hertz) è detto, come già ben sappiamo, frequenza dell'onda.

MODULAZIONE di AMPIEZZA

In relazione al suono da trasmettere si può far variare o **l'ampiezza,** o la **fase,** o la **frequenza** di un'onda portante; il processo mediante il quale si ottiene la variazione di una di tali caratteristiche si chiama **modulazione.** I tre sistemi di modulazione sono perciò il sistema di modulazione di ampiezza, quello di modulazione di fase e quello di modulazione di frequenza. Essi vengono indicati spesso da sigle, ossia **MA**, per modulazione di ampiezza (in inglese AM), **FM** (per modulazione di frequenza) e **PM** per modulazione di fase.

Altri tipi di modulazione, come ad esempio la modulazione ad impulsi, possono essere considerati come suddivisioni o derivati dei tre sistemi citati.

Se si usa una tensione sinusoidale per modulare in ampiezza l'onda portante, l'ampiezza istantanea della stessa varia in maniera sinusoidale. La massima ampiezza da essa raggiunta, sia in senso positivo che in senso negativo, viene denominata **ampiezza di picco.** I picchi positivi e negativi sono eguali, e l'oscillazione completa del ciclo dal massimo positivo al massimo

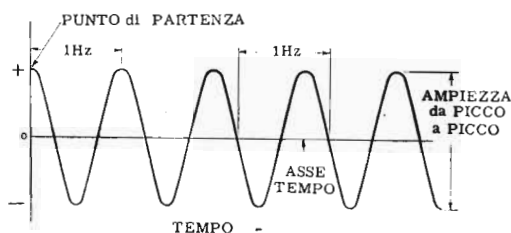
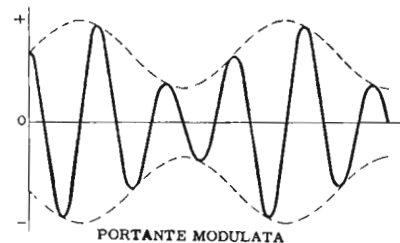



Fig. 1 — In questa rappresentazione grafica dell'onda è messo in evidenza, tra l'altro, che il ciclo può essere considerato a partire da qualsiasi punto: riferito al tempo di 1 secondo prende il nome di Hertz. Il numero di Hertz (cicli in un secondo) definisce la frequenza dell'onda.

Fig. 2 — Il segnale di Bassa Frequenza rappresentato in alto, applicato all'onda portante ne varia la ampiezza tra picco e picco così come appare nella figura riportata sotto.

negativo si chiama ampiezza **da picco a picco**.

Se consideriamo solo quest'ultima, possiamo dire che l'ampiezza di quell'onda è costante: e ciò costituisce, come sappiamo, la caratteristica generica della portante non modulata.

Nella modulazione di ampiezza, l'ampiezza tra picco e picco della portante viene variata a seconda delle onde sonore da trasmettere. Ad esempio, la voce captata da un microfono viene convertita in un segnale ad audiofrequenza (B.F.), che controlla l'ampiezza della portante. Un suono singolo, avviato al microfono, modula la portante nel modo visibile alla **figura 2**. In essa i picchi della portante non hanno più un'ampiezza costante in quanto seguono le variazioni istantanee di ampiezza del segnale ad audiofrequenza. Quando quest'ultimo varia in senso positivo i picchi della portante aumentano in conformità, mentre, allorché la variazione del segnale audio avviene in senso negativo, l'ampiezza della portante diminuisce. Da ciò si deduce che **l'ampiezza istantanea dei segnali modulanti ad audiofrequenza determina l'ampiezza tra picco e picco della portante modulata.**

Percentuale di modulazione

Nella modulazione di ampiezza è uso comune esprimere il grado di modulazione della portante in *percentuale di modulazione*. Quando l'ampiezza tra picco e picco del segnale modulante è eguale a quella tra picco e picco della portante non modulata, si dice che la portante è modulata al 100%. Nella **figura 3** la tensione modulante E_A è eguale, picco a picco, a quella della portante E_R, e l'ampiezza tra picco e picco di quest'ultima varia tra $2E_R$ o $2E_A$ e 0. In altre parole, il segnale modulante oscilla con ampiezza sufficiente a raddoppiare l'ampiezza della portante tra picco e picco durante i semiperiodi positivi, e da ridurla a zero durante quelli negativi.

Se E_A è inferiore ad E_R, la percentuale di modulazione è inferiore al 100%. Se E_A è pari alla metà di E_R, la percentuale ammonta soltanto al 50% (vedi **figura 4**). Quando il segnale modulante raggiunge il valore massimo nella direzione positiva, l'ampiezza della portante aumenta del 50%, mentre diminuisce della medesima entità durante i semiperiodi negativi.

E' anche possibile aumentare la percentuale di modulazione ad un valore superiore al 100%, facendo in modo che E_A sia maggiore di E_R, come illustrato alla **figura 5**. In essa, l'onda portante modulata viene fatta variare da 0 ad un'ampiezza picco a picco maggiore di $2E_R$.

Dal momento che l'ampiezza tra picco e picco della portante non può essere inferiore a 0, la stessa viene completamente annullata per tutti i valori negativi di E_A maggiori di E_R. Ciò si traduce in un segnale distorto, e la comprensione del segnale modulante viene compromessa in ricezione. Ne consegue che la percentuale di modulazione nei sistemi di comunicazione a modulazione di ampiezza è limitata a valori compresi tra 0 e 100%.

La percentuale effettiva di modulazione di una portante può essere calcolata in modo semplice mediante la seguente formula:

$$M = \% \text{ di modulazione} = \frac{E_{\text{MAX}} - E_{\text{MIN}}}{E_{\text{MAX}} + E_{\text{MIN}}} \times 100$$

nella quale E_{MAX} è l'ampiezza massima ed E_{MIN} è l'ampiezza minima tra picco e picco della portante modulata. Supponiamo, ad esempio, che una portante modulata vari in ampiezza da picco a picco, da 10 a 30 volt. Sostituendo nella formula citata, 30 a E_{MAX} e 10 ad E_{MIN}, si ottiene:

$$M = \frac{30 - 10}{30 + 10} \times 100 = \frac{20}{40} \times 100 = 50\%$$

Tale formula è esatta soltanto per percentuali comprese tra 0 e 100 per cento.

Bande laterali

Quando i segnali di due oscillatori di appropriata frequenza sono abbinati si hanno, nell'uscita comune, le due frequenze originali e due altre frequenze, pari alla somma e alla loro differenza. Questo fenomeno si manifesta anche nel processo di modulazione, tra la portante e la frequenza audio di modulazione: le frequenze derivanti dal loro incontro (detto *battimento*) si chiamano **bande laterali**

Supponiamo che una frequenza audio di 1000 Hz moduli una portante di 500 kHz. La portante modulata consiste allora, principalmente di tre frequen-

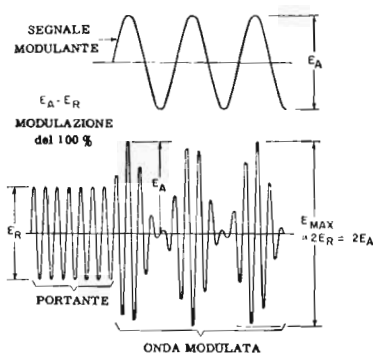



Fig. 3 — Per una modulazione al 100% il segnale modulante oscilla con ampiezza sufficiente a raddoppiare o a ridurre a zero l'ampiezza della portante.

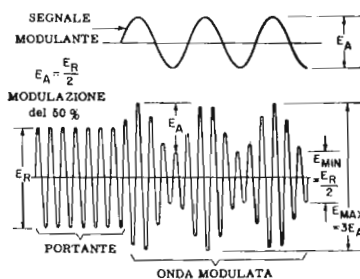



Fig. 4 — Se la tensione modulante è pari a metà della tensione della portante, la percentuale di modulazione ammonta al 50%.

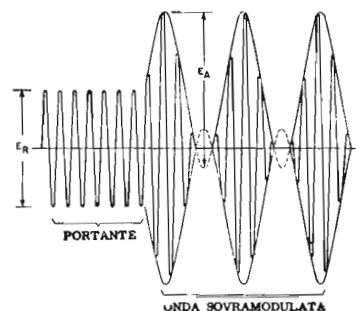



Fig. 5 — Con una tensione modulante maggiore di quella portante si ottiene una modulazione superiore al 100% e una conseguente distorsione.

ze componenti, ossia della portante originale a 500 kHz, della somma tra la frequenza audio e la radiofrequenza, (501 kHz), e della differenza tra le due frequenze, ossia 499 kHz.

La componente a 501 kHz viene denominata *banda laterale superiore*, e quella a 499 kHz *banda laterale inferiore*. Dal momento che nella modulazione di ampiezza entrambe sono sempre presenti, l'onda modulata consiste in una frequenza centrale, una frequenza laterale superiore ed una frequenza laterale inferiore. L'ampiezza individuale di ciascun componente è di valore costante, ma l'onda risultante varia in ampiezza in accordo col segnale acustico.

La **figura 6** rappresenta la portante e le due frequenze laterali dell'esempio citato: ognuna è collocata in relazione alla sua frequenza ed è riportata con riferimento alla sua ampiezza. Il segnale modulante, f_A, batte con la portante, f_C, e produce la frequenza laterale superiore, f_H, e quella inferiore, f_L. La portante modulata occupa pertanto una sezione dello spettro a radiofrequenza, la quale si estende da f_L a f_H, vale a dire per 2 kHz. Per ricevere tale segnale, il ricevitore deve avere gli stadi a radiofrequenza la cui larghezza di banda ammonti a 2 kHz. In altre parole, quando esso è sintonizzato su 500 kHz, deve essere in grado di ricevere anche le frequenze di 499 kHz e di 501 kHz con minima perdita di responso.

La gamma delle frequenze acustiche si estende, come ben sappiamo, approssimativamente da 16 a 16.000 Hz. Per uniformarsi alla frequenza più alta, vale a dire per includerla, il canale della modulazione di ampiezza deve essere esteso da 16 kHz al di sotto a 16 kHz al di sopra della frequenza portante, ed il ricevitore deve presentare una larghezza di banda corrispondente. Ne consegue che, se la frequenza della portante è di 500 kHz, il canale MA deve estendersi da 484 a 516 kHz. Ciò rappresenta la larghezza di banda ideale: tuttavia, in pratica, l'intera ampiezza di banda MA per la riproduzione acustica raramente raggiunge i 16 kHz.

Per ogni assieme specifico di audiofrequenze modulanti, il canale MA, ossia la larghezza di banda, ammonta al doppio della frequenza acustica più elevata.

L'energia a radiofrequenza, irradiata dall'antenna del trasmettitore sotto forma di una portante modulata, è divisa tra la portante stessa e le due bande laterali. Con una componente portante di 1.000 watt, è necessario un segnale audio di 500 watt per una modulazione al 100%. Pertanto, la portante modulata non supererà la potenza totale di 1.500 watt. I 500 watt di potenza acustica si dividono in parti eguali tra le bande laterali; nessuna parte della potenza audio si unisce alla portante. A causa di ciò, la portante di per sè non contiene segnali acustici; dal punto di vista dell'utilità della comunicazione, si può perciò dire che i 1.000 watt corrispondenti alla potenza della portante sono praticamente sciupati. Possiamo anche osservare che per trasmettere i segnali audio, o segnali di « intelligenza », è sufficiente una sola banda laterale. E' pertanto possibile eliminare la portante ed una delle bande laterali, ma la complessità dell'apparecchiatura necessaria annulla, in linea di massima, il vantaggio del guadagno di efficienza.

Inconvenienti della modulazione di ampiezza

I rumori parassiti e le interferenze elettriche possono anch'essi modulare in ampiezza la portante, fino al punto da rendere nulla l'intelligibilità della trasmissione. Questo, tuttavia, non è il solo inconveniente: un segnale ad MA è anche suscettibile di interferenze con altre frequenze prossime, per cui, affinchè la trasmissione sia percepibile, è necessario che la potenza del trasmettitore interessato sia molto maggiore di quella del trasmettitore interferente. Per questi motivi è desiderabile, a volte, un diverso sistema di modulazione.

MODULAZIONE di FASE

Per effettuare la trasmissione di frequenze audio o di « intelligenza », oltre all'ampiezza, è possibile variare la frequenza o la fase della portante. Il procedimento della variazione di frequenza a seconda della frequenza audio, si chiama modulazione di frequenza, o FM (o, a volte, M.d.F.), e quello della variazione di fase si chiama modulazione di fase. Quando si ha la modulazione di frequenza, si agisce indirettamente anche sulla fase della portante; analogamente, nel caso della modulazione di fase, si agisce indirettamente sulla frequenza. Per comprendere il funzionamento di questi due sistemi è necessaria una certa familiarità

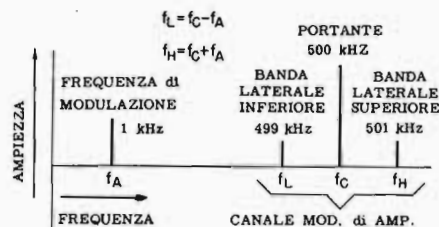



Fig. 6 — In seguito alla modulazione si creano le « bande laterali » ai lati della portante, come è qui illustrato per segnale modulante di 1000 Hz.

Fig. 8 — Con rappresentazione vettoriale a ogni ciclo corrisponde una rivoluzione completa.

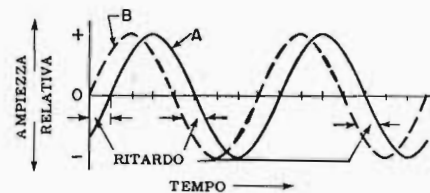



Fig. 7 — Con due curve (A e B) di eguale frequenza si può illustrare il ritardo di A rispetto a B o viceversa, cioè la fase.

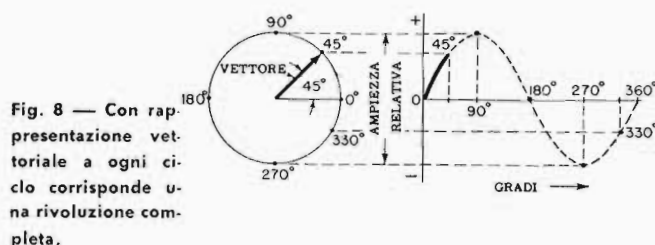
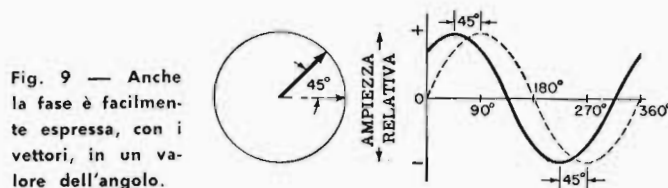
Fig. 9 — Anche la fase è facilmente espressa, con i vettori, in un valore dell'angolo.

con entrambi: è per questo che, pur non riscontrandosi in pratica, correnti applicazioni del sistema di modulazione di fase, lo descriveremo con un certo dettaglio. Inoltre, ciò è giustificato ulteriormente dal fatto che sulla sua tecnica non torneremo più. Per contro, avremo modo di dedicare intere lezioni al sistema a modulazione di frequenza, data la sua attuale, vasta applicazione nelle emissioni radiofoniche.

Parlando delle carateristiche della portante, abbiamo definito la sua frequenza come il numero di cicli che si verificano ogni secondo. La **figura 7** rappresenta, mediante la curva *A*, l'andamento di due cicli completi. Il punto di partenza per la misura del tempo è stato scelto arbitrariamente, e, al tempo 0, la curva *A* ha un certo valore negativo. Se si traccia una seconda curva (*B*) avente la medesima frequenza e tale che l'ampiezza sia 0 al tempo 0, essa può essere usata come riferimento nei confronti della curva *A*.

La curva *B* parte da 0 in direzione positiva; la curva *A* parte, come si è detto, da un valore negativo e procede anch'essa in direzione positiva raggiungendo l'ampiezza 0, solo una frazione di secondo dopo l'istante in cui il valore di *B* è passato per 0. Tale frazione di ciclo rappresenta l'ammontare del *ritardo* di *A* rispetto a *B*. Dal momento che le due curve hanno la medesima frequenza, il ritardo di *A* verso *B* sarà sempre costante. Se la posizione delle curve viene invertita, si dice allora che *A* è in anticipo rispetto a *B*. L'intervallo di ritardo o di anticipo di *A*, come il lettore avrà già capito, costituisce la sua fase; dal momento che il riferimento dato è arbitrario, la fase è relativa.

Rappresentazione vettoriale

Le variazioni cicliche della portante sono state rappresentate, nelle figure sin qui viste, disegnando una curva dell'ampiezza in funzione del tempo; tuttavia esse possono essere rappresentate anche come la proiezione di un punto rotante in un circolo in senso antiorario. Ciò costituisce la rappresentazione vettoriale (vedi lezione 24ª) che è ottenuta tracciando la ampiezza in funzione del numero dei gradi di rotazione del punto invece che in funzione del tempo. Per ogni ciclo della portante, il punto compie una rotazione completa di 360°; ciò rappresenta il periodo dell'onda, ossia il tempo necessario ad un ciclo.

La **figura 8** rappresenta un ciclo della portante espresso come proiezione di un punto che si muove lungo una circonferenza. Partendo da 0, il punto ruota di 360° tornando successivamente a 0, dove ha inizio il ciclo successivo. Allorchè tale punto viene proiettato lungo la serie di assi a destra, una rivoluzione completa del punto traccia un ciclo completo dell'onda. La frequenza dell'onda in cicli al secondo (Hertz), è numericamente eguale al numero di rivoluzioni compiute dal punto nella medesima unità di tempo. La fase relativa dell'onda mostrata è 0, in quanto a 0 l'ampiezza è a 0°.

L'ampiezza di picco dell'onda è eguale al raggio del circolo, e l'ampiezza tra picco e picco corrisponde al diametro.

Abbiamo molto opportunamente rivisto sin qui concetti noti: questo ripasso ci è di grande utilità per bene afferrare la spiegazione del procedimento della modulazione di fase. Proseguimo perciò il nostro esame.

La posizione del punto in ogni istante può essere indicata da una freccia che, partendo dal centro, raggiunge il punto stesso. Tale freccia è il noto « vettore » e, nel nostro diagramma, esso è rappresentato in posizione di 45°. E' necessario ricordare che il vettore non è fermo, bensì ruota con una frequenza eguale a quella dell'onda che esso rappresenta; esso costituisce un comodo sistema per indicare le relazioni di fase tra un'onda ed un'altra onda, oppure tra un'onda ed un riferimento scelto arbitrariamente. Supponiamo che un'onda venga osservata iniziando dall'istante in cui il suo vettore si trova nella posizione corrispondente a 45° (**figura 9**). Per determinare la fase relativa, si può usare come riferimento un secondo vettore avente l'ampiezza 0 nell'istante 0, e rotante nella medesima direzione in senso antiorario. Nella proiezione grafica visibile alla destra della figura, le due onde hanno la medesima frequenza; tuttavia, l'onda da noi osservata si dice che ha un anticipo di fase relativo di 45°. Se analizziamo la figura notiamo che i 45° costituiscono l'angolo centrale presente tra i due vettori, misurato in senso antiorario partendo dal vettore di riferimento. L'onda sinusoidale in tratto continuo, passa da 0 in direzione positiva, 45° prima dell'onda di riferimento tratteggiata riportata a destra. Se si considera in tal modo una particolare onda portante, si nota che essa in ogni istante ha una re-

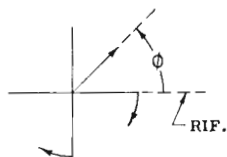



Fig. 10 A — Vettore relativo alla portante non modulata. Angolo di fase costante.

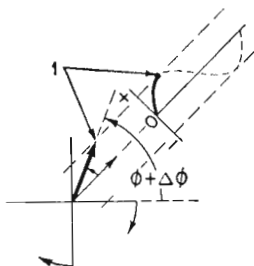



Fig. 10 B — Effetto del segnale modulante al suo massimo valore positivo, sull'angolo di fase.

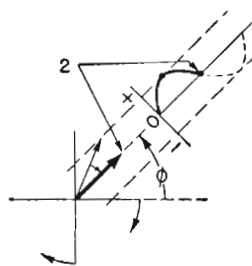



Fig. 10 C — Il segnale modulante è tornato a zero: l'angolo di fase è come all'inizio (figura 10 A).

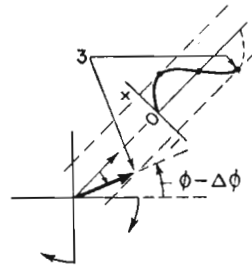



Fig. 10 D — Effetto del segnale modulante al suo massimo valore negativo, sull'angolo di fase.

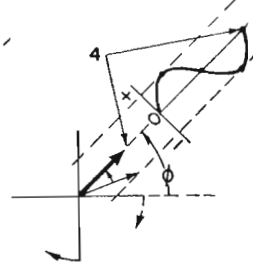



Fig. 10 E — Il segnale modulante torna ancora a zero e l'angolo di fase è pari alla posizione di partenza.

lazione di fase relativa rispetto ad una portante di riferimento di eguale frequenza.

L'angolo di fase può essere misurato sia in gradi che in radianti; dal momento che 360° equivalgono a 2π radianti, l'angolo di fase di 45° osservato precedentemente, può essere espresso come $\pi/4$ radianti, o, più semplicemente $\pi/4$.

Modulazione

Nella modulazione di fase si fa variare la fase relativa della portante conformemente alla frequenza audio da trasmettere. L'angolo di fase della portante quindi, non è più fisso. L'ampiezza e la frequenza media della portante vengono mantenute ad un valore costante, mentre il segnale modulante é sulla fase che esercita la sua funzione in ogni istante, mediante la variazione dell'angolo di fase, come illustrato alla **figura 10**.

Invece di far ruotare il vettore alla frequenza della portante, possono essere ruotati gli assi del grafico, in direzione opposta, con la medesima velocità. In tal modo il vettore (e l'onda di riferimento) possono essere esaminati mentre sono simbolicamente fermi. Nella figura 10-**A** è illustrato il vettore relativo alla portante non modulata; le piccole frecce curve indicano la direzione di rotazione degli assi della frequenza portante. L'angolo di fase, φ, è costante rispetto alla frequenza di riferimento scelta arbitrariamente. Le sezioni **B**, **C**, **D**, ed **E**, della figura, illustrano gli effetti del segnale modulante sull'angolo di fase relativo, in 4 punti differenti.

La conseguenza di un'oscillazione in senso positivo del segnale modulante, consiste nella accelerazione della velocità di rotazione del vettore che viene spinto in senso antiorario ed aumenta l'angolo di fase, φ. Nel punto 1, il segnale modulante raggiunge il suo valore massimo, e l'angolo di fase viene di conseguenza variato di un ammontare pari a $\Delta\varphi$. Le condizioni istantanee di fase del punto 1 sono quindi $\varphi + \Delta\varphi$.

Dopo aver raggiunto il suo massimo valore in senso positivo, il segnale modulante prosegue in direzione opposta. La velocità del vettore diminuisce, ed esso risulta muoversi in direzione opposta, verso la sua posizione originale. Quando il segnale modulante raggiunge il valore 0 (posizione 2 in C), il vettore è ritornato nella sua posizione originale. L'angolo di fase è nuovamente φ rispetto al riferimento.

Il segnale modulante continua in senso negativo ed il vettore viene portato oltre la sua posizione originale, in senso orario. Allorchè esso raggiunge il suo massimo valore negativo (posizione 3 in D), l'angolo di fase del vettore diventa $-\Delta\varphi$, per cui l'angolo di fase instantaneo si riduce a $\varphi - \Delta\varphi$.

In ultimo, il vettore ritorna al suo angolo di fase originale non appena l'ampieza del segnale modulante diventa 0, (posizione 4 in E). A questo punto l'angolo di fase è nuovamente φ, ed il ciclo è completo. L'intero ciclo di spostamento di fase si ripete per ogni ciclo del segnale modulante, il che vale a dire che la frequenza di quest'ultimo viene riprodotta sotto forma di successivi cicli di spostamento di fase.

Per ogni ciclo del segnale modulante, la fase relativa della portante viene variata tra i valori $\varphi + \Delta\varphi$ e $\varphi - \Delta\varphi$. Questi due valori di fase istantanea — che si verificano in corrispondenza dei valori massimi positivi e negativi della modulazione — sono noti col nome di limiti di spostamento di fase. Il limite superiore è $+\Delta\varphi$, ed il limite inferiore è $-\Delta\varphi$. Le relazione tra detti limiti ed il vettore della portante sono illustrate dalla **figura 11** nella quale sono indicati i limiti di $\pm\Delta\varphi$.

Se si rappresenta il vettore della modulazione di fase in funzione del tempo, si ottiene un'onda come quella illustrata alla **figura 12**. In essa, in **A**, si ha il segnale modulante: nella sezione **B** l'onda tratteggiata è la curva del vettore di riferimento, mentre l'onda a tratto intero è la portante. Non appena il segnale modulante procede in senso positivo, l'angolo di fase negativo aumenta da un anticipo originale di 45° ad un valore massimo come illustrato nella posizione 1 della sezione B. Allorchè invece esso procede in senso negativo, l'anticipo di fase della portante rispetto al vettore di riferimento diminuisce ad un valore minimo, come illustrato nel punto 2, dopo di che ritorna al valore originale di 45° non appena l'ampiezza del segnale modulante torna a zero.

Ciò rappresenta l'onda risultante da una modulazione di fase sinusoidale, nella quale l'ampiezza del segnale modulante controlla le relazioni relative di fase della portante.

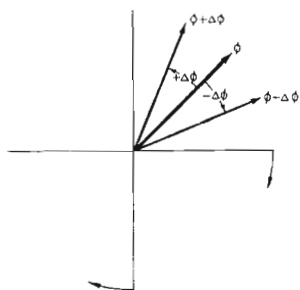



Fig. 11 — Gli effetti visti nei diversi punti della figura 10 sono qui riassunti nei due limiti di fase, corrispondenti ai valori massimi (positivi e negativi) della modulazione.

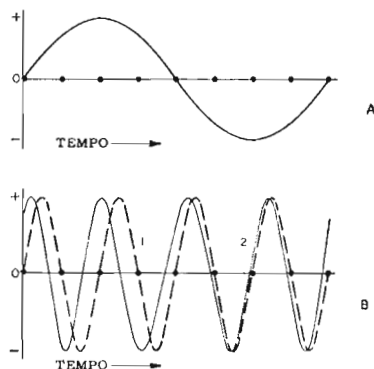



Fig. 12 — **Rispetto al tempo, in A segnale modulante; in B onda (tratteggiata) del vettore e (tratto intero) portante.**

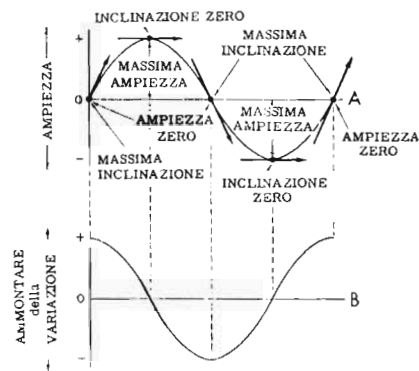



Fig. 13 — **Con la modulazione di fase si verifica una modulazione di frequenza: essa è rapportata in B rispetto ad A.**

Modulazione di fase e frequenza della portante

Nella rappresentazione vettoriale della portante con modulazione di fase, il vettore della portante viene *accelerato* o *ritardato* a seconda che l'angolo di fase relativo aumenti o diminuisca in conseguenza del segnale modulante. Dal momento che la velocità del vettore equivale alla frequenza della portante, quest'ultima **deve variare** durante la modulazione di fase. Si verifica perciò una specie di modulazione di frequenza, nota come *modulazione di frequenza equivalente*.

Sia la modulazione di fase che la modulazione di frequenza equivalente dipendono dal segnale modulante; a ciascuna condizione istantanea di fase è associata una frequenza equivalente istantanea.

La fase è determinata in ciascun istante dall'ampiezza del segnale modulante. La frequenza istantanea equivalente è invece determinata dal **rapporto di variazione di ampiezza** di detto segnale. Questo rapporto di variazione di ampiezza del segnale modulante dipende da due fattori: l'ampiezza, e la frequenza di modulazione. Infatti, se *l'ampiezza* di modulazione aumenta, aumenta contemporaneamente lo spostamento della fase. Il vettore della portante deve muoversi attraverso un angolo più grande nel medesimo periodo di tempo, aumentando cioè la sua velocità, e, di conseguenza, aumentando lo spostamento di frequenza della portante. Se aumenta *la frequenza* di modulazione, la portante deve variare entro i limiti dello spostamento di fase con un ritmo maggiore, aumentando cioè la sua velocità, e, di conseguenza, aumentando lo spostamento di frequenza.

Quando invece o l'ampiezza o la frequenza del segnale di modulazione diminuiscono, diminuisce in conformità anche lo spostamento di frequenza della portante.

Più rapide sono le variazioni di ampiezza, maggiore è lo spostamento in frequenza risultante: più lente sono le variazioni di ampiezza, minori sono gli spostamenti di frequenza.

Il rapporto di variazione in ogni istante può essere determinato dalla inclinazione dell'onda modulante. Osservando la **figura 13-A**, si nota che i massimi rapporti di variazione non si verificano in corrispondenza dei punti di massima ampiezza; infatti, quando l'ampiezza è 0, il rapporto di variazione è massimo, e viceversa. Quando l'onda passa attraverso il valore 0 in senso positivo, il rapporto di variazione raggiunge il suo massimo valore positivo, mentre, quando passa attraverso 0 in senso negativo, il rapporto raggiunge il massimo valore negativo.

La curva **B** è la rappresentazione del rapporto di variazione della curva A. Quest'onda è in anticipo di 90° rispetto alla deviazione di fase.

La relazione che intercorre tra la deviazione di fase e lo spostamento di frequenza è illustrata nel diagramma vettoriale della **figura 14**. Negli istanti in cui la deviazione di fase è massima, lo spostamento di frequenza è 0; negli istanti in cui la deviazione di fase è 0, lo spostamento di frequenza è massimo. I limiti di deviazione della frequenza equivalente di una portante modulata di fase possono essere calcolati mediante la formula seguente:

$$\Delta F = \Delta\varphi f cos\,(2\pi f t)$$

nella quale ΔF è la deviazione di frequenza, $\Delta\varphi$ la massima deviazione di fase, f la frequenza del segnale modulante, e cos $(2\pi f t)$ è la deviazione di ampiezza del segnale modulante in qualsiasi frazione di tempo t.

Quando $(2\pi f t)$ è 0 o 180°, l'ampiezza del segnale è 0 ed il coseno ha il suo massimo valore pari a +1 a 360°, ed a —1 a 180°. Se il limite dello spostamento di fase è 30°, ossia $\pi/6$ radianti, per una frequenza modulante di 1.000 Hz, si ha:

$$F = \frac{\pi}{6} \times 1.000 \times (+1) = +523 \text{ Hz circa.}$$

Quando il segnale modulante passa attraverso il valore 0, in direzione positiva, la frequenza portante viene aumentata di 523 Hz. Quando il segnale modulante passa attraverso il valore 0 in direzione negativa, la la frequenza portante viene diminuita di 523 Hz.

MODULAZIONE di FREQUENZA

Allorchè una portante è modulata in frequenza da un segnale, la sua ampiezza viene mantenuta costante mentre la sua frequenza varia direttamente col variare dell'ampiezza del segnale modulante. Si hanno dei limiti di spostamento di frequenza analoghi a quelli relativi allo spostamento di fase nel sistema di modulazione di fase. Vi è pure uno *spostamento di fase equiva-*

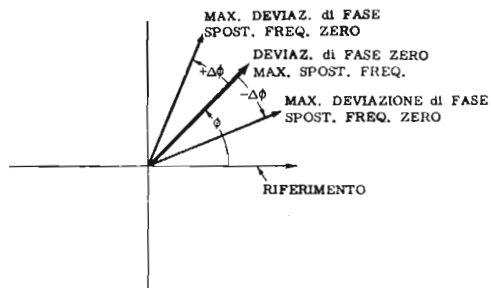



Fig. 14 — Relazione tra deviazione di fase e spostamento di frequenza. Si nota che quest'ultimo è massimo allorchè la deviazione di fase è zero. Alle massime deviazioni di fase è zero lo spostamento di frequenza.

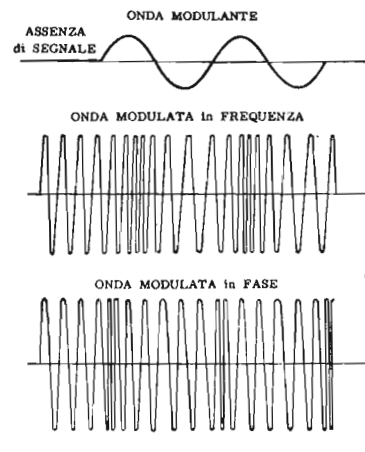



Fig. 15 — Nell'onda modulata in frequenza, ad ampiezza zero del segnale modulante non si hanno variazioni: l'aumento positivo aumenta la frequenza e il negativo la diminuisce. Sotto: confronto con onda modulata di fase.

lente della portante, analogo allo spostamento di frequenza equivalente che abbiamo osservato nella modulazione di fase.

La **figura 15-A** illustra un'onda modulata in frequenza risultante dalla sovrapposizione di due cicli del segnale modulante su una portante. E' facile notare che, quando l'ampiezza del segnale modulante è 0, la frequenza portante non subisce variazioni. Quando il segnale modulante aumenta in ampiezza in senso positivo, la frequenza della portante aumenta fino a raggiungere il suo valore più alto in corrispondenza dell'ampiezza massima del segnale di B.F. Quando quest'ultimo aumenta in senso negativo, accade il contrario: la frequenza della portante diminuisce fino a raggiungere il suo valore minimo in corrispondenza del picco negativo.

Possiamo vedere un confronto tra l'onda modulata in frequenza (figura 15-A) e l'onda modulata in fase, (figura 15-**B**) in corrispondenza degli stessi due cicli del segnale modulante.

Se l'onda modulata in fase viene spostata di 90°, le due onde appaiono eguali. Agli effetti pratici la differenza è minima, ed un ricevitore per FM infatti può ricevere entrambi i tipi di portante.

DEMODULAZIONE di ONDE a MODULAZIONE di AMPIEZZA

La demodulazione, o rivelazione, è il processo mediante il quale si separano i segnali a frequenza audio dalla portante modulata. Nel caso della modulazione di ampiezza, sappiamo che detti segnali vengono sovrapposti alla portante stessa sotto forma di variazioni di ampiezza di quest'ultima. Il demodulatore di un'onda MA produce correnti o tensioni che variano con l'ampiezza dell'onda. Analogamente, il rivelatore per onde a modulazione di frequenza o per onde modulate di fase, converte le variazioni di frequenza o di fase di una portante modulata, in correnti o tensioni che variano in ampiezza con le variazioni di frequenza o di fase dell'onda.

L'ampiezza istantanea, e_0, della portante può essere così espressa:

$$e_0 = E_0 \text{ sen } (2\pi f_0 t + \varphi)$$

dove E_0 è l'ampiezza massima della portante modulata, f_0 è la frequenza della portante, e φ è l'angolo di fase (per segnali MA, φ può essere considerato pari a zero). Una o più delle variabili indipendenti (quelle cioè contenute nel secondo membro dell'equazione) può variare conformemente al segnale modulante per produrre una variazione in e_0. Tuttavia nella pratica normale, si fa variare soltanto uno di tali valori, e precisamente E_0 (per la modulazione di ampiezza, f_0 (per la modulazione di frequenza) oppure φ (per la modulazione di fase), evitando per quanto possibile qualsiasi variazione degli altri fattori.

Per questo motivo lo stadio rivelatore dell'apparecchio ricevente deve essere progettato in modo che risulti sensibile soltanto per il tipo di modulazione usato dal trasmettitore, e deve essere, per contro, insensibile nei confronti degli altri tipi di modulazione.

I dispositivi di modulazione e di demodulazione per il sistema della modulazione di ampiezza non sono lineari, ossia i loro rapporti tra corrente e tensione non possono essere rappresentati graficamente da una linea retta. Dato che il rapporto tra corrente e tensione non è costante, il dispositivo presenta anche una impedenza non lineare. Allorchè un'onda MA viene applicata ai capi di una impedenza non lineare — come ad esempio, ad uno degli stadi rivelatori a valvola che vedremo in seguito — la corrente media di uscita è la differenza tra ogni successivo periodo positivo e negativo delle corrente del segnale d'uscita come è illustrato alla **figura 16**.

L'uscita media (ossia la componente del segnale) segue il contorno dell'onda modulata in arrivo con una esattezza che dipende dalla forma della curva non lineare. Dal momento che il contorno dell'onda MA contiene la frequenza audio, un dispositivo non lineare **demodula** l'onda modulata in ampiezza.

Per meglio comprendere le differenze presenti fra le frequenze d'uscita dei vari tipi di rivelatori, è necessario considerare le frequenze che entrano in gioco sia nella modulazione, sia nella demodulazione.

CONFRONTO tra la MODULAZIONE e la DEMODULAZIONE di AMPIEZZA

Se in un trasmettitore una portante a radiofrequenza ed un segnale modulante sinusoidale a frequenza unica venissero applicati ad un dispositivo

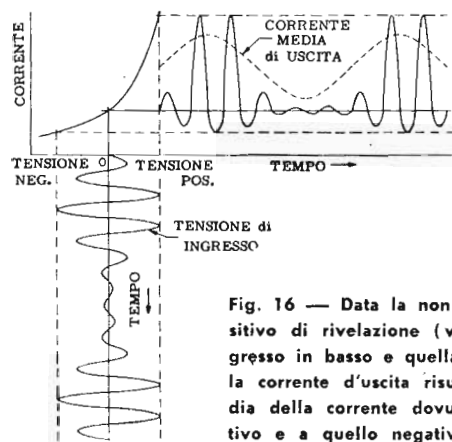



Fig. 16 — Data la non linearità del dispositivo di rivelazione (vedi tensione di ingresso in basso e quella d'uscita, a destra) la corrente d'uscita risulta essere una media della corrente dovuta al periodo positivo e a quello negativo.

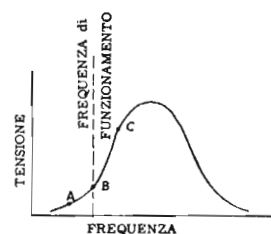



Fig. 17 — Le variazioni di frequenza dovute alla modulazione possono essere rivelate, ossia tradotte in variazioni di ampiezza, se la frequenza portante viene fatta coincidere (B) sulla falda della curva di sintonizzazione di un circuito oscillante.

lineare, la forma d'onda che ne risulterebbe conterrebbe entrambe le frequenze. Gli amplificatori a circuiti sintonizzati del trasmettitore amplificherebbero la portante a radiofrequenza, ma eliminerebbero, agli effetti pratici, la componente ad audiofrequenza. In tali circostanze, verrebbe irradiata la sola portante, per cui verrebbe meno il suo scopo di far da tramite ai segnali di « intelligenza ».

Se le medesime frequenze di cui sopra vengono applicate ad un dispositivo **non lineare** si ottiene un risultato molto differente. In questo caso, si introduce una certa distorsione e, come conseguenza si creano delle frequenze addizionali. In aggiunta alle frequenze originali vengono prodotte delle frequenze che corrispondono alla somma ed alla differenza delle stesse, oltre ad una frequenza « zero », ossia una componente a corrente continua. In tali condizioni i circuiti sintonizzati del trasmettitore rispondono alla portante e alle bande laterali superiori e inferiori; come prima, però il segnale modulante ad audiofrequenza viene discriminato. Tuttavia, questa componente a frequenza audio viene sostituita, o meglio, generata nuovamente dallo stadio rivelatore dell'apparecchio ricevente.

Nel ricevitore, la portante e le sue bande laterali vengono applicate ad un secondo **dispositivo non lineare** detto **demodulatore** o rivelatore. Se il demodulatore ha una curva non lineare ideale, distorce la forma d'onda in arrivo (le semionde positive del ciclo risulteranno differenti da quelle negative). Pertanto, oltre alla portante a radiofrequenza ed alle relative due bande laterali, si avrà la frequenza del segnale (che corrisponde alla differenza tra la banda laterale superiore e la portante, e tra la portante e la banda laterale inferiore), ed una frequenza zero (ossia una componente a corrente continua). Quest'ultima viene spesso utilizzata per una azione di controllo automatico dall'amplificazione, che esamineremo in seguito.

Se il tipo di demodulatore usato nel ricevitore non ha una curva non lineare ideale, bensì una curva seguente, ad esempio, una legge quadratica, si producono delle frequenze addizionali. Queste frequenze sono armoniche di tutte le frequenze presenti all'ingresso. Esse si producono in quanto le tensioni d'ingresso che hanno un'ampiezza maggiore vengono distorte in maniera diversa da quelle aventi un'ampiezza minore; le armoniche ad AF possono essere filtrate all'uscita del demodulatore ma le armoniche a frequenza acustica non possono essere eliminate altrettanto facilmente.

DEMODULAZIONE della MODULAZIONE di FREQUENZA

La maggiore differenza esistente tra un ricevitore per MA ed un ricevitore per FM consiste nella diversità del sistema di rivelazione. Per ricavare i segnali audio da un'onda portante ad FM, è necessario impiegare un dispositivo che converta le variazioni di frequenza in variazioni di tensione di B.F. Tali tensioni corrispondono a quelle prodotte dal microfono presso il trasmettitore. Qualsiasi dispositivo nel quale l'ampiezza varia in maniera pressochè lineare rispetto alla variazione di frequenza può servire allo scopo.

Un metodo semplice per convertire le variazioni di frequenza in variazioni di ampiezza consiste nel disintonizzare un circuito oscillante normale in modo che la portante del segnale a modulazione di frequenza si trovi su una falda della curva di risonanza, (punto B) **figura 17**. Come abbiamo visto, l'ammontare delle variazioni di frequenza intorno al valore della portante varia con l'ampiezza del segnale modulante. Se la portante ad FM si trova lungo la falda della curva, le sue variazioni di frequenza vengono convertite in variazioni equivalenti di ampiezza dato il responso non uniforme per le frequenze sopra e sotto quella centrale (A e C in figura 17). Così l'uscita dell'amplificatore a radiofrequenza varia in ampiezza conformemente ai segnali audio; il segnale risultante può essere accoppiato ad un rivelatore del tipo MA onde ripristinare la tensione audio. E' da notare che la frequenza della portante deve cadere su di un lato della curva di responso per la rivelazione dei segnali FM, e non al centro, in quanto, in centro, il responso del ricevitore più o meno uniforme e simmetrico.

Per evitare che il segnale introdotto venga distorto, le variazioni di frequenza devono essere limitate a quella parte di curva che è rettilinea; poichè tale parte è molto breve, la tensione sviluppata è molto bassa. Per questo motivo tale sistema non è praticamente usato ma è tuttavia utile per illustrare il principio della rivelazione FM, che vedremo molto più in dettaglio.

MICROFONI e ALTOPARLANTI

Abbiamo considerato fino ad ora — nel nostro studio — i vari tipi di corrente sui quali si basa il funzionamento delle apparecchiature elettroniche; nella maggior parte dei casi, il segnale di entrata e di uscita di un ricevitore, di un amplificatore o di uno strumento, è stato definito come la tensione proveniente da un generatore esterno. Analogamente, si è spesso parlato di un carico applicato all'uscita di uno stadio finale, carico il cui compito consiste nell'utilizzare la energia messa a disposizione dallo stadio stesso. Infine, nelle nostre più recenti lezioni, abbiamo chiarito i concetti di « modulazione » e « demodulazione », relativi ai rapporti che intercorrono tra le correnti foniche e quelle ad Alta Frequenza nelle radiocomunicazioni.

E' dunque tempo di occuparci, ora, dettagliatamente delle sorgenti dirette di tali segnali: inizieremo dai segnali acustici, nonchè dai dispositivi atti alla loro riproduzione, e vedremo, in un secondo tempo, i segnali a radiofrequenza nella loro formazione riferita anche essa ai mezzi per generarli.

I MICROFONI

La parola *microfono* deriva — come molte altre del nostro ramo — dal greco, in quanto *micro* significa « estremamente piccolo », e *phono* (pronuncia « fono ») significa « suono », è facile dedurre che l'organo così definito non è altro che un dispositivo sensibile alle onde sonore, le cui caratteristiche sono tali da convertire le stesse in impulsi elettrici, sia pure assai deboli. Sappiamo però, che qualsiasi impulso elettrico, per per quanto debole, è suscettibile di rilevante amplificazione a mezzo valvole elettroniche o transistori.

Anche i microfoni, come tutti i componenti elettronici, hanno subito una notevole e logica evoluzione: il primo tipo progettato e realizzato ha dato origine a studi ed esperienze che hanno consentito successivi perfezionamenti attraverso il tempo. Nella nostra analisi dei vari tipi (analogamente faremo per gli altoparlanti) seguiremo appunto questa evoluzione, per consentire al lettore la comprensione dei vari sviluppi.

Scopo iniziale della realizzazione del microfono, all'epoca cioè della sua origine, è stata la trasformazione della voce umana in corrente elettrica. Questo era, allora, l'unico requisito che veniva richiesto al dispositivo, e non si pensava molto, a quel tempo, ad altre esigenze. In seguito, con lo sviluppo della tecnica di amplificazione e di riproduzione dei suoni, la necessità di pervenire a più fedeli riproduzioni comprendenti esecuzioni musicali oltre che trasmissioni di parola, ha portato alla realizzazione di microfoni estremamente fedeli: in molti casi si sono avuti miglioramenti del fattore sensibilità.

Attualmente esistono tre categorie principali di microfoni: quelli adatti alla sola riproduzione della voce parlata (ad esempio quelli usati nei telefoni), la cui gamma di frequenze si estende all'incirca da 150 a 4.000 Hz, quelli adatti alla riproduzione di buona parte della gamma delle frequenze udibili, (usati negli impianti di amplificazione), che possono funzionare entro una gamma compresa tra 50 e 7.500 Hz, ed infine quelli cosiddetti professionali (usati nelle riprese radiofoniche), mediante i quali è possibile riprodurre uniformemente l'intera gamma delle frequenze udibili che come è noto, va da circa 20 a oltre 16.000 Hz.

A ciò occorre aggiungere che l'indice di qualità di un microfono deve tener conto anche della sua attitudine al suo specifico impiego. Se si tratta di un microfono adatto alla sola riproduzione della voce umana, una caratteristica della qualità è la comprensibilità che si riesce ad ottenere in fase di riproduzione, dai suoi segnali elettrici. Se invece si tratta di un microfono per la riproduzione di musica e suoni, l'indice della qualità è la fedeltà dei suoni rispetto a quelli originali.

Il microfono a carbone

Il primo dispositivo che ha consentito la trasformazione di onde sonore in impulsi elettrici è stato il microfono a carbone. Se un certo numero di piccoli corpi conduttori, ad esempio granuli di carbone, offre una determinata resistenza al passaggio della corrente elettrica per un determinato contatto reciproco, rendendo instabile, con vibrazioni meccaniche, tale contatto, si otterrà una variazione della resistenza elettrica.

Il principio è illustrato alla **figura 1**. Si nota una custodia (anch'essa di carbone) nella quale sono riposti granuli i quali, oltre che con il loro contenitore, si trovano in contatto con una mebrana, pure di carbone.

Il circuito elettrico fa capo alla membrana da un lato ed al contenitore dall'altro. In serie al circuito si trova la batteria. In condizioni di riposo — ossia assenza di vibrazioni da parte della membrana — la corrente elettrica incontra, attraverso il microfono, una determinata resistenza ohmica dovuta alla conduttività del carbone, al contatto reciproco tra i granuli, ed al con-

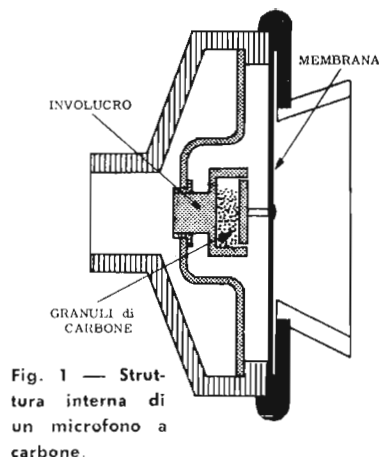



Fig. 1 — Struttura interna di un microfono a carbone.

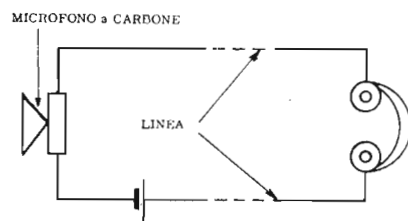



Fig. 2 — Grazie all'ampiezza dei segnali forniti dal microfono a carbone, esso può funzionare con accoppiamento diretto ad una cuffia, senza alcuna amplificazione.

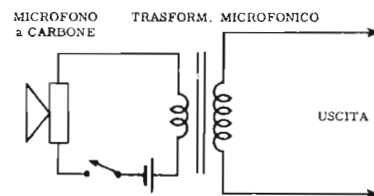



Fig. 3 — Per adattare la bassa impedenza di un microfono a carbone a quella di griglia di una valvola, occorre una trasformatore microfonico. L'interruttore in serie alla batteria interrompe la corrente allorchè il microfono non viene usato.

tatto tra questi e la membrana.

Sappiamo che le onde sonore tendono a far vibrare i corpi solidi: notiamo infatti — ad esempio — quotidianamente, le vibrazioni ai vetri della finestra allorchè all'esterno viene riprodotto un suono di notevole intensità. Il concetto sarà ancora più chiaro se ricorriamo, come esempio, al nostro stesso organo dell'udito, il cui timpano (membrana) vibra per effetto dei suoni che percepiamo.

In virtù del medesimo fenomeno la membrana di carbone (peraltro assai leggera), vibra in presenza di suoni, e trasmette le sue vibrazioni ai granuli di carbone, creando una notevole instabilità di contatto. Tale instabilità si traduce in una variazione corrispondente della resistenza, la quale — a sua volta — provoca variazioni conformi nell'intensità della corrente circolante fornita dalla batteria. Si può dire, in ultima analisi, che le onde sonore vengono trasformate in una corrente elettrica variabile.

Le caratteristiche costruttive di questo tipo di microfono sono tali da assicurare una discreta robustezza, da cui deriva una certa insensibilità all'umidità, alle variazioni di temperatura ed alle esalazioni chimiche. Per contro le caratteristiche funzionali denotano una notevole limitazione della gamma di frequenze alle quali esso è sensibile, compensata però da una notevole sensibilità. In pratica, è possibile riprodurre direttamente i suoni percepiti da un microfono di questo tipo, senza alcuna amplificazione. Questo è appunto il caso del telefono, limitatamente però ai circuiti relativamente brevi. In tal caso — infatti — è sufficiente chiudere il circuito di figura 1 con l'avvolgimento di una cuffia (**figura 2**), per ottenere da questa, in base al suo noto principio di funzionamento, la riproduzione dei suoni prodotti in prossimità del microfono.

Nel caso invece di comunicazioni telefoniche oltre una certa distanza, l'attenuazione che si verifica lungo i cavi porta alla necessità di amplificare i segnali per elevarli ad un livello sufficiente per un comodo ascolto.

Il microfono a carbone è stato perfezionato con la realizzazione della cosiddetta « doppia capsula ». Essa consiste praticamente in due microfoni abbinati e rivolti in due direzioni opposte.

Il microfono a carbone è caratterizzato da una certa direzionalità, in quanto, ferma restando l'intensità del suono e la distanza tra la sorgente sonora ed il microfono, gli impulsi elettrici prodotti sono tanto più intensi quanto più la direzione del suono è perpendicolare alla membrana: in altre parole, la massima sensibilità si verifica allorchè la membrana è rivolta direttamente verso la sorgente sonora.

L'impedenza interna del microfono a carbone ha un valore basso (qualche decina di ohm): di conseguenza, dovendosi amplificare i segnali di uscita mediante una valvola, è necessario un trasformatore, detto « microfonico » per adeguarsi alla elevata impedenza di griglia della valvola stessa. Come si nota osservando la **figura 3,** il trasformatore microfonico ha un primario a bassa impedenza che costituisce il carico nel circuito del microfono. Il secondario, ad alta impedenza, fornisce gli impulsi con una tensione maggiore (a seconda del rapporto di trasformazione, che è dell'ordine di 1 : 30) ai capi di una impedenza sufficiente per consentire l'applicazione tra griglia e massa di una valvola.

Con lo sviluppo — ripetiamo — dell'elettronica, e con l'aumento delle esigenze dal punto di vista qualitativo, si è giunti gradatamente alla realizzazione di microfoni aventi caratteristiche più soddisfacenti. Il microfono a carbone ha attualmente un impiego limitato agli impianti telefonici, ed a certi tipi di trasmettitori radio il cui funzionamento avviene esclusivamente per l'emissione del parlato, come per esempio nelle apparecchiature militari, in quelle dilettantistiche ed in quelle di alcuni servizi civili.

Il microfono elettrostatico

Abbiamo visto — nello studio della capacità e dei fenomeni relativi — che, se si applica alle armature di un condensatore una tensione continua di ampiezza stabile, si ha nel circuito un unico impulso di corrente conseguente alla carica del condensatore stesso; terminata detta carica, la corrente cessa di scorrere. Sappiamo inoltre che, se la tensione applicata varia con un certo ritmo, o di ampiezza o addirittura di polarità, si ha nel circuito il passaggio di una corrente alternata, di cui l'intensità e l'ampiezza dipendono dall'intensità e dell'ampiezza della componente alternata applicata, nonchè della reattanza del condensatore.

Un altro fenomeno della capacità è che, fermo restando il valore della tensione continua applicata alle armature, si ha anche un passaggio di corrente alterna-

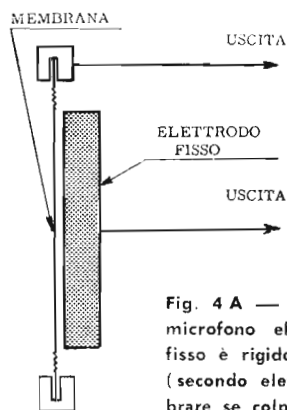



Fig. 4 A — Struttura interna di un microfono elettrostatico. L'elettrodo fisso è rigido, mentre la membrana (secondo elettrodo), è libera di vibrare se colpita da onde sonore.

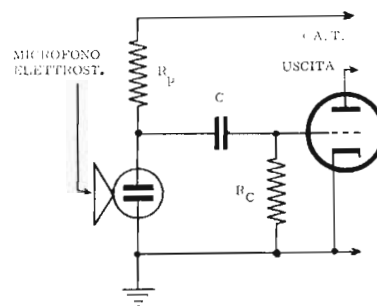



Fig. 4 B — Circuito tipico di collegamento di un microfono a condensatore al primo stadio di amplificazione. La tensione viene fornita dallo stesso alimentatore.

ta se il valore della capacità varia periodicamente; la corrente alternata che circola in tali condizioni, ha una intensità direttamente proporzionale alla variazione di capacità.

Uno dei sistemi più semplici per variare una capacità, consiste nel variare la distanza tra le armature, e questo è appunto il principio che ha portato alla realizzazione del microfono elettrostatico illustrato alla **figura 4-A.** In essa si nota che il condensatore consta di un'armatura solida fissa, e di una membrana sottile, leggera e flessibile, che costituisce una seconda armatura.

Se applichiamo una tensione tra le due armature, otteniamo nel circuito esterno un solo impulso di carica, dopo di che la corrente cessa. Tuttavia, se la membrana viene sollecitata da vibrazioni (dovute — ad esempio — a onde sonore), esse la costringono ad assumere successivamente una forma concava o convessa, a seconda che l'aria all'esterno viene rispettivamente compressa o rarefatta dalle onde sonore.

Tali variazioni di forma, consentite dall'elasticità del materiale con cui la membrana è realizzata, determinano a loro volta diminuzioni o aumenti della capacità dovuti alla variazione di distanza tra le armature. Ne consegue che, nel circuito del condensatore, si manifestano impulsi di corrente.

Alla base del funzionamento del microfono elettrostatico vi è dunque una tensione continua applicata alle sue armature. Per quanto riguarda il prelevamento degli impulsi di tensione, è bene fare, innanzitutto, una considerazione. Osservando la figura **4-B,** si nota che la tensione continua è applicata attraverso una resistenza: dal momento che la corrente continua non passa attraverso il condensatore, la resistenza non è percorsa da corrente, per cui ai suoi capi non si manifesta alcuna caduta di tensione. Di conseguenza, l'intera tensione è presente sulle armature. Non appena la membrana vibra a causa delle onde sonore che la colpiscono, si manifesta una debole corrente alternata, la quale provoca cadute di tensione proporzionali ai capi della resistenza. Da ciò è facile dedurre che tali cadute di tensione costituiscono una tensione alternata conseguente al suono e suscettibile di amplificazione.

Il microfono elettrostatico si distingue da tutti gli altri microfoni per una elevata uniformità di responso alle varie frequenze. Questa prerogativa lo rende adatto ad applicazioni in casi di esigenze particolari, tanto che esso viene impiegato negli studi di registrazione, e — in certi casi — come microfono campione per la taratura di apparecchiature elettroacustiche, nonchè per la misura di livelli sonori.

La tecnica costruttiva è stata col tempo perfezionata; infatti, allo scopo di normalizzare lo smorzamento della membrana dovuto alle variazioni interne della pressione, si è giunti a sagomare opportunamente l'armatura fissa, la quale è — in certi casi — provvista di una serie di fori o di scanalature, che hanno il compito di influire sulla pressione migliorando il responso.

La sensibilità di questo microfono non è elevata. Un altro inconveniente consiste nel fatto che l'elevata impedenza propria lo rende particolarmente sensibile ai campi elettrostatici esterni. Accanto alla capsula microfonica propriamente detta viene normalmente installato (nel medesimo involucro) il primo stadio di amplificazione. In tal modo, mediante opportuni accorgimenti, è possibile far sì che l'uscita sia caratterizzata da una impedenza relativamente bassa, e quindi molto meno sensibile ai campi di cui sopra.

La tensione con cui le armature vengono polarizzate, generalmente è compresa tra 150 e 300 volt; il valore della resistenza in serie è normalmente di qualche Megahom. Si possono realizzare esemplari del tutto particolari, il cui funzionamento può essere panoramico (sensibilità uniforme, indipendentemente dalla direzione di provenienza del suono), oppure direzionale (ossia sensibile ai suoni provenienti da una sola direzione). Dal momento che questo tipo di microfono funziona in conseguenza di variazioni della pressione dell'aria, il suo responso alla frequenza può essere influenzato da vari fattori. La tensione d'uscita è infatti proporzionale alla pressione sonora nella gamma delle frequenze medie e basse: tuttavia, mano a mano che la frequenza del suono aumenta, la tensione d'uscita varia per il fatto che la pressione interna (ossia dell'aria presente tra le armature) tende a contrastare i movimenti della membrana. Ciò comunque è in parte compensato dal fatto che i segnali elettrici presenti in uscita passano sempre attraverso il condensatore di accoppiamento. La reattanza di questo, maggiore alle frequenze basse e minore a quelle alte, compensa la variazione della tensione d'uscita.

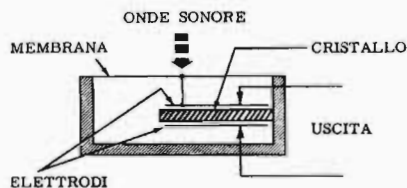



Fig. 5 A — Struttura interna di un microfono a cristallo. Le vibrazioni della membrana vengono trasmesse al cristallo, il quale emette impulsi elettrici proporzionali.

Fig. 5 B — Aspetto tipico di una capsula microfonica piezoelettrica. Viene installata in un apposito involucro.

Fig. 5 C — Aspetto di tipici microfoni a cristallo disponibili in commercio. Il primo è munito di controllo di volume. Il secondo può essere comodamente tenuto in mano.

Il microfono piezoelettrico

Ci siamo occupati già sommariamente della piezoelettricità, a pagina 111. Il microfono piezoelettrico è appunto uno dei casi in cui questo fenomeno viene sfruttato.

La **figura 5-A** illustra la struttura interna di un microfono di questo tipo. In esso si nota che la membrana è solidale al centro di un'ancoretta.

Il cristallo è generalmente di forma quadrata o rettangolare, e consta di due strati di sale di Rochelle, incollati tra loro. Alle superfici esterne dei due strati sono affacciati i due elettrodi connessi alla linea.

Quando la membrana vibra per effetto delle onde sonore, trasmette le sue vibrazioni al cristallo tramite l'ancoretta. Le sollecitazioni meccaniche applicate al cristallo fanno in modo che esso subisca delle flessioni lungo una delle diagonali; queste flessioni si traducono in impulsi elettrici tra gli elettrodi, grazie alle caratteristiche piezoelettriche.

Data la quasi totale mancanza di continuità tra le armature, l'impedenza interna del microfono piezoelettrico è elevatissima. Ciò consente di applicarlo direttamente all'ingresso (griglia) del primo stadio di amplificazione, senza l'ausilio di organi di accoppiamento. Inoltre, l'elevata sensibilità consente una buona potenza d'uscita senza eccessiva amplificazione.

Rispetto ai due tipi precedentemente descritti, il microfono piezoelettrico presenta il vantaggio di non necessitare — per il suo funzionamento — di una sorgente di tensione di eccitazione. Gli impulsi vengono infatti prodotti direttamente dal cristallo.

La struttura interna di un microfono piezoelettrico può anche essere multicellulare. In questo caso, esso consta di vari cristalli collegati parte in serie e parte in parallelo. Il loro numero varia da 6 a 20, e la combinazione delle varie unità consente di ottenere responsi lineari alla frequenza, praticamente sull'intera gamma di frequenze acustiche.

In linea di massima il microfono piezoeletrico può essere considerato uno dei più economici. Esistono infatti in commercio delle capsule che, pur avendo un funzionamento abbastanza soddisfacente, hanno un costo molto limitato. Per contro, esso presenta una certa delicatezza in quanto sensibilissimo all'umidità, e non sopporta temperature superiori a 45° C.

Il microfono magnetico

Acceniamo brevemente ad un tipo di microfono, detto anche a « riluttanza variabile », il cui uso è limitato soltanto alle realizzazioni economiche, nelle quali sia però necessaria una buona tolleranza alle variazioni di temperatura e ad un certo grado di umidità.

Esso è molto simile ad un microfono a cristallo; la differenza consiste nel fatto che all'interno, in luogo del cristallo, si trova un piccolo magnete permanente provvisto di espansioni polari chiuse su un traferro di circa 1 mm. Nel campo magnetico di questo traferro è immersa un'ancoretta di ferro dolce libera da un lato e rigida dall'altro, intorno alla quale si trova un avvolgimento realizzato con diverse centinaia di spire di filo di rame smaltato della sezione di qualche centesimo di millimetro. L'estremità libera dell'ancoretta è unita mediante un collegamento meccanico, leggero ma rigido, ad una mebrana di alluminio o di plastica.

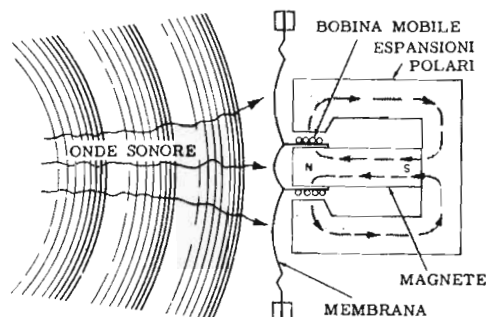
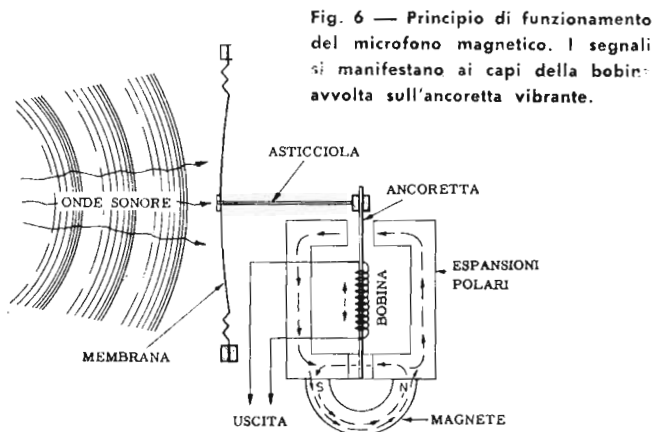
Allorchè la membrana vibra per effetto delle onde sonore, le vibrazioni vengono trasmesse all'ancoretta, la quale viene così a tagliare il campo magnetico nel quale è immersa, con la medesima frequenza delle onde sonore. Come abbiamo detto, l'ancoretta vibrante costituisce il nucleo di un avvolgimento, per cui, per il principio basilare dell'elettromagnetismo, tutti gli impulsi magnetici presenti in esso a causa delle vibrazioni meccaniche, inducono impulsi di tensione nell'avvolgimento, impulsi che possono essere prelevati ai suoi capi ed amplificati, mediante valvole, nel modo consueto.

Esistono microfoni di questo tipo il cui avvolgimento ha un'impedenza talmente bassa da rendere necessario l'uso di un trasformatore per il collegamento alla valvola amplificatrice, mentre ne esistono altri la cui impedenza è tale da consentire il collegamento diretto. La **figura 6** illustra il principio di funzionamento.

Il microfono dinamico (a bobina mobile)

In questo tipo di microfono viene sfruttato il principio della produzione di corrente mediante lo spostamento di un conduttore in un campo magnetico costante. La **figura 7** rappresenta la struttura interna di un microfono dinamico. La membrana, generalmente di plastica o di alluminio, ha una forma tale da consentire un responso il più possibile lineare alle varie frequenze. Ad essa è fissata una bobinetta, avvolta con

Fig. 6 — Principio di funzionamento del microfono magnetico. I segnali si manifestano ai capi della bobina avvolta sull'ancoretta vibrante.

Fig. 7 — Principio di funzionamento del microfono dinamico. La bobina mobile, immersa nel traferro di un potente magnete, ne taglia il campo magnetico allorchè viene fatta vibrare dalla membrana.

diverse spire di filo sottilissimo al fine di contenere il peso nel minimo indispensabile.

Detta bobina è immersa in un intenso campo magnetico reso disponibile da un magnete, per lo più a forma di anello, ai cui poli sono fissate le espansioni polari che concentrano il flusso magnetico nella zona in cui si trova la bobina.

Le vibrazioni della membrana, dovute alle onde sonore, vengono trasmesse alla bobina, la quale si sposta verso l'esterno se l'aria viene rarefatta, o verso l'interno se invece si manifesta una pressione. Di conseguenza, la bobina mobile viene a tagliare il campo magnetico in un senso o nell'altro, rendendo disponibili ai suoi capi impulsi elettrici di polarità conforme e di ampiezza proporzionale agli spostamenti (e quindi all'intensità del suono).

Ovviamente, a causa della necessaria leggerezza della bobina (poche spire) questo microfono non può avere una impedenza interna elevata; è perciò necessario un trasformatore microfonico per l'accoppiamento alla griglia di una valvola amplificatrice.

Uno dei vantaggi offerti dal microfono a bobina è la relativa insensibilità alle condizioni ambientali. Esso difficilmente risente degli sbalzi di temperatura, e, allorchè la membrana è di alluminio, è praticamente insensibile all'umidità. La sensibilità ai suoni è abbastanza elevata.

Esistono microfoni dinamici di pretese limitate, il cui costo è abbastanza modesto. Essi possono funzionare in modo soddisfacente su gamme di frequenza comprese all'incirca tra 100 e 7.000 Hz. Per contro esistono tipi professionali, molto più costosi, il cui funzionamento è uniforme da 30 a 16.000 Hz. La differenza tra i due tipi consiste nelle caratteristiche della membrana, nella bobina e nell'intensità del campo magnetico, come pure nei dispositivi adottati per adeguare opportunamente la pressione interna.

A tale scopo, poichè ogni spostamento della membrana determina successive compressioni e rarefazioni dell'aria contenuta, è necessario creare una comunicazione con l'esterno onde evitare che dette variazioni di pressione turbino la caratteristica dinamica della membrana. Qust'ultima, inoltre, ha — come tutti i corpi solidi — una sua frequenza di risonanza. Allorchè essa vibra in corrispondenza di un suono avente tale frequenza l'ampiezza delle vibrazioni è notevolmente maggiore che non per le altre frequenze. Da ciò deriva un segnale di ampiezza maggiore e quindi un responso non uniforme. I sistemi di smorzamento applicati alla membrana costituiscono un rimedio a tale inconveniente.

Normalmente, nel medesimo involucro che contiene l'unità microfonica, è installato il trasformatore di accoppiamento. Se la sua uscita è ad alta impedenza (per le linee di lunghezza ridotta), esso viene denominato trasformatore « bobina griglia ». Nei casi invece in cui la linea deve avere una certa lunghezza, ad evitare di captare rumori di fondo dovuti alla presenza di campi magnetici esterni, si preferisce usare un trasformatore detto « bobina-linea » avente un'uscita ad impedenza media (da 200 a 600 ohm), al quale fa seguito un secondo trasformatore, detto « linea-griglia » installato in prossimità dell'amplificatore.

Affinchè questi trasformatori non apportino perdite in alcune zone della gamma di frequenze, sono avvolti su nuclei di materiali speciali, come ad esempio il « permalloy » o il « mumetal », la cui elevata permeabilità consente risultati molto migliori che non col comune ferro al silicio: essi sono inoltre accuratamente schermati.

Il microfono a nastro o « a velocità »

Il microfono a nastro, detto anche « a velocità », il cui principio di funzionamento è illustrato dalla **figura 8-A**, prende il nome dal fatto che esso funziona a causa della differenza di pressione che esiste tra le facce anteriore e posteriore di un nastro di alluminio sottile ed ondulato, immerso tra le espansioni polari di uno o più magneti permanenti.

La costruzione è realizzata in modo tale che le onde sonore abbiano facile accesso al nastro, la cui leggerezza è tale da consentirgli di seguire fedelmente le vibrazioni dell'aria anche per le frequenze elevate.

La frequenza di risonanza del nastro viene portata ad un valore inferiore alla frequenza più bassa percepibile dall'orecchio umano.

Le onde sonore, costringendo il nastro a vibrare, producono in esso una f.e.m. dato che il nastro taglia il campo magnetico. Detta forza si manifesta alle estremità del nastro, le quali devono necessariamente essere isolate: la tensione viene portata al primario di un

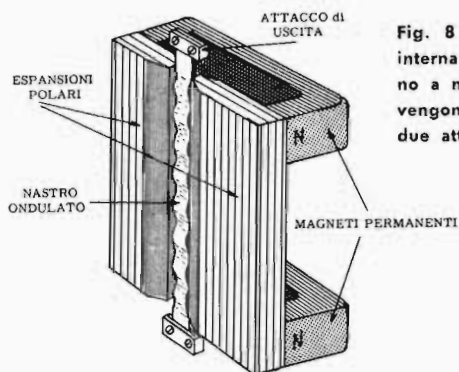



Fig. 8 A — Struttura interna di un microfono a nastro. I segnali vengono prelevati dai due attacchi di uscita.

Fig. 8 B — Aspetto di un tipico microfono a « doppio nastro » di produzione nazionale. Consente un funzionamento uniforme su tutta la gamma delle frequenze acustiche.

piccolo trasformatore contenuto nel medesimo involucro del microfono. Anche in questo caso il trasformatore può essere adatto ad un accoppiamento diretto (trasformatore « nastro-griglia ») oppure, nel caso di notevole distanza tra il microfono e l'amplificatore, può avere un secondario a media impedenza, ossia a impedenza di linea. In tale modo la linea stessa viene poi collegata al primario di un secondo trasformatore « linea-griglia » che eleva ulteriormente l'impedenza.

Una delle caratteristiche più importanti del microfono a nastro, oltre al fatto che consente una buona linearità di responso tra circa 40 e 10.000 Hz, consiste nella sua bidirezionalità: esso infatti, ha la massima sensibilità per le onde sonore provenienti da una direzione perpendicolare al piano del nastro, sia in avanti che indietro, mentre la sensibilità diminuisce fino a diventare pressochè nulla per le onde sonore provenienti dai lati.

Per contro, un inconveniente di questo tipo di microfono risiede nella sua estrema delicatezza e nella impossibilità di utilizzazione all'aperto, specie in zone in cui l'aria è mossa dal vento, il quale può danneggiare gravemente il nastro.

La figura 8-**B** illustra un tipico microfono a nastro.

EFFETTO di DIREZIONALITA'

I microfoni *omnidirezionali* o « panoramici » captano tutte le onde sonore, qualunque ne sia la direzione di provenienza. Sono inoltre sensibili alle note acute provenienti dalla parte anteriore. Questo gruppo comprende tutti i microfoni il cui effetto direttivo non viene tenuto in considerazione nelle caratteristiche generali. La **figura 9-A** illustra la zona circolare dalla quale possono provenire i suoni diretti ad un microfono panoramico, supposto che questo si trovi in corrispondenza del punto dei due diametri perpendicolari.

I microfoni *bidirezionali* captano solo i suoni prodotti anteriormente e posteriormente al microfono. Il rumore ambientale viene perciò attenuato, e si ha anche meno pericolo che si generi l'effetto « Larsen » ossia una indesiderata reazione tra microfono e altoparlante — della quale ci occuperemo a suo tempo — che non con i tipi omnidirezionali; per contro, risulta più critica la posizione rispetto alla sorgente sonora (figura 9-**B**).

I microfoni *unidirezionali* (o a cardioide) captano esclusivamente i suoni prodotti anteriormente; il loro nome è dovuto al fatto che la curva direzionale (figura 9-**C**) espressa in coordinate polari, è a forma di cuore.

La riproduzione del rumore dell'ambiente è ancora più debole, ed ancora minore è il pericolo dell'effetto « Larsen » che con i tipi bidirezionali; la determinazione della posizione di installazione è molto facile.

I microfoni *ipercardioidi* costituiscono il perfezionamento del microfono a cardioide. Il rumore viene attenuato al massimo e minimo risulta il pericolo dello effetto « Larsen ». Data la forma particolare della curva direzionale, (figura 9-**D**), la determinazione della posizione corretta rispetto alla sorgente sonora, risulta un po' più difficile che per il microfono a cardioide.

Questi tipi di microfoni vengono realizzati incorporando nel medesimo involucro due unità microfoniche e spesso, unendo una unità a nastro ad una unità dinamica. Come sappiamo, la prima ha una sensibilità bidirezionale mentre la seconda ha una sensibilità pressochè panoramica. Dal momento che lo spostamento del nastro avviene per suoni provenienti da due direzioni, mentre nel microfono dinamico la tensione di uscita è pressochè indipendente dalla direzione di provenienza dei suoni, i due segnali, collegati in serie, si sommano o si sottraggono a seconda della polarità reciproca. In tal modo i suoni provenienti dalla parte anteriore al microfono determinano impulsi di tensione pari alla somma delle due uscite, mentre quelli provenienti dalla parte posteriore determinano impulsi pari alla loro differenza. Ne consegue che, limitando opportunamente l'amplificazione subita da detti impulsi, è possibile ottenere un'ottima resa rispetto ai suoni prodotti anteriormente al microfono, mentre la resa diminuisce gradatamente man mano che la sorgente sonora si sposta radialmente intorno al microfono stesso, fino a diventare pressochè nulla nei confronti dei suoni prodotti posteriormente. Il microfono unidirezionale si dimostra particolarmente utile durante le registrazioni di esecuzioni orchestrali effettuate con diversi microfoni collegati ad altrettanti canali d'ingresso dell'amplificatore. Infatti, variando opportunamente l'amplificazione relativa, è possibile ottenere effetti sonori particolari, in quanto ogni microfono percepisce soltanto il suono emesso dagli strumenti di fronte ai quali esso

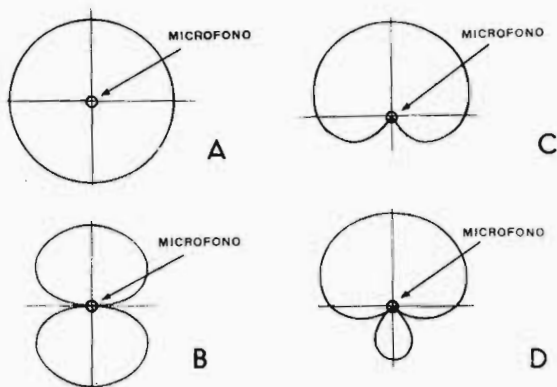



Fig. 9 — A) Curva panoramica; B) Curva bidirezionale; C) Curva cardioide: D) Curva ipercardioide.

Fig. 10 — Aspetto di tipici altoparlanti dinamici. Si notino le ondulazioni presenti sul bordo esterno del cono, che ne agevolano la vibrazione. Il terzo a destra è di forma ellittica.

è stato installato. Un'altra utilizzazione pratica, è costituita dalle interviste effettuate in luoghi pubblici e rumorosi: in tal caso è infatti possibile udire in prevalenza la voce degli interlocutori, eliminando i rumori ambientali tanto quanto basta per non togliere l'effetto della ripresa sonora in un luogo a livello di rumore d'ambiente piuttosto elevato.

SENSIBILITA' di un MICROFONO

La tensione di segnale prodotta da un microfono, varia con la sensibilità dello stesso, nonchè col variare dell'intensità del suono e della distanza della sorgente sonora.

Per valutare la sensibilità di un microfono, si misura la tensione d'uscita relativa ad una data pressione acustica sulla membrana; essa viene normalmente espressa in « millivolt per microbar, (mV/μbar) » (tabella 62, pagina 358), oppure in decibel riferiti ad 1 volt.

In quest'ultimo caso, una sensibilità denunciata, ad esempio in — 50 dB, significa che il livello di tensione del segnale è di 50 dB inferiore ad 1 volt.

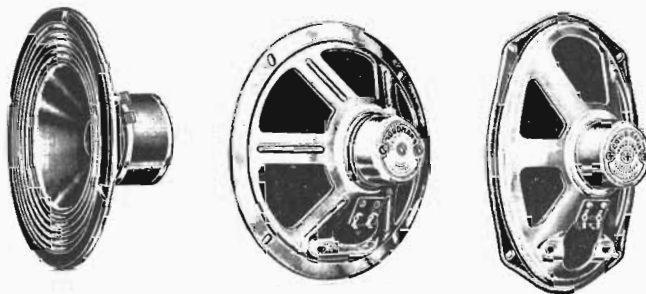
La curva di responso alla frequenza da parte di un microfono, viene rilevata misurando l'uscita corrispondente alla percezione di suoni di varie frequenze, tenendo costante l'intensità dei suoni prodotti da un apposito generatore, e la distanza del microfono.

L'ALTOPARLANTE

I suoni percepiti da un microfono, amplificati, ed eventualmente trasmessi mediante onde radio, devono essere trasformati in onde sonore ad opera di un riproduttore.

La cuffia, della quale ci siamo già occupati, è il primo riproduttore che consentì l'ascolto dei segnali provenienti da un microfono. Essa è tuttora utilizzata negli impianti telefonici e ogni qualvolta l'ascolto deve essere riservato ad uno o a pochi operatori.

Anche nell'esposizione relativa agli altoparlanti, così come abbiamo fatto per i microfoni, seguiremo un certo ordine cronologico, che rispecchia anche qui, in certo qual modo, l'evoluzione costruttiva.

La caratteristica essenziale di un altoparlante consiste nel riprodurre il più fedelmente possibile i suoni percepiti dal microfono. Il suo compito è di ritrasformare le vibrazioni elettriche che variano in frequenza ed in ampiezza in vibrazioni meccaniche, le quali — a loro volta — vengono ritrasformate in onde sonore mediante una membrana flessibile che comprime più o meno l'aria circostante.

L'altoparlante magnetico

Il principio di funzionamento è del tutto analogo a quello del microfono e della cuffia; come nei casi suddetti, si ha un magnete permanente provvisto di espansioni polari nel cui campo si trova un'ancoretta fissata da un lato, e collegata dall'altro — mediante una asticciola — al centro di un cono di carta speciale.

L'unica differenza, oltre che nelle dimensioni, consiste nel fatto che il suo compito, invece che nel trasformare onde sonore in impulsi di corrente, è volto a trasformare questi ultimi in onde sonore. Infatti, i segnali a c.a. applicati all'avvolgimento posto intorno all'ancoretta vibrante, costringono quest'ultima ad avvicinarsi alternativamente all'una o all'altra espansione polare, a seconda della polarità dei segnali stessi. Dette vibrazioni meccaniche, trasmesse al cono mediante un perno rigido, si traducono in onde sonore. Il cono deve avere caratteristiche tali da permettere la riproduzione il più possibile fedele al suono originale, senza introdurre vibrazioni parassite.

Il bordo esterno è fissato rigidamente ad un supporto circolare, ed il cono è foggiato in maniera tale da consentire oscillazioni meccaniche libere, ossia prive di attriti, grazie alle ondulazioni e all'alleggerimento presente in prossimità della circonferenza massima.

Questo tipo di altoparlante è oggi superato dal tipo detto « dinamico » o « a bobina mobile » in quanto quest'ultimo permette una riproduzione molto più fedele ed il raggiungimento di potenze sonore più elevate.

L'altoparlante dinamico

Questo tipo di altoparlante è basato sul medesimo principio del microfono a bobina mobile; anche in questo caso, la differenza rispetto al microfono consiste, oltre che nelle dimensioni, nel fatto che il funzionamento avviene in senso opposto. Come si vede alla **figura 10,** esso è costituito da un « cestello », che agisce da supporto nei confronti del cono e del complesso ma-

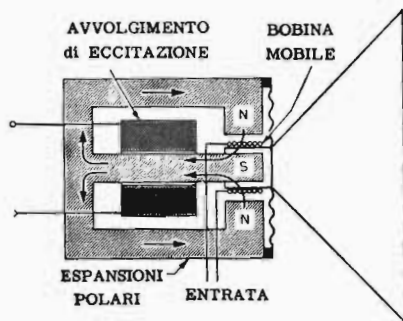



Fig. 11 — Struttura di un altoparlante elettrodinamico. Il campo magnetico deriva dalla corrente che percorre l'avvolgimento di eccitazione.

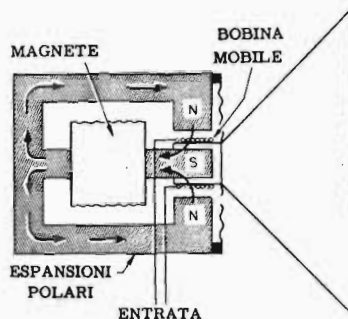



Fig. 12 — L'altoparlante magnetodinamico elimina l'eccitazione, che è sostituita da un potente magnete permanente. Il funzionamento è eguale.

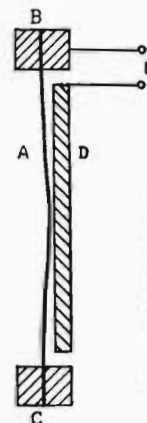



Fig. 13 — Struttura interna di un altoparante elettrostatico. È analogo al microfono a condensatore. Viene usato per la sola riproduzione delle note molto alte.

gnetico. Al centro del cono è fissata una bobina supportata da un cilindro di cartoncino leggero, immersa in un campo magnetico costante e di notevole intensità.

A questo punto è necessario chiarire la distinzione tra l'altoparlante « elettrodinamico » ed il tipo « magneto dinamico ». Nel primo caso il campo magnetico costante è determinato dalla corrente continua che percorre un avvolgimento installato intorno al nucleo centrale del magnete (**figura 11-A**): era di uso corrente fino a pochi anni orsono, e la corrente necessaria per l'eccitazione era costituita dalla medesima corrente anodica che serviva per l'alimentazione del ricevitore o dell'amplificatore. Infatti, l'avvolgimento di eccitazione, detto anche bobina di campo, sostituiva l'impedenza di filtro collegata in serie al circuito di alimentazione anodica nella sezione filtrante dell'alimentatore. Nel caso invece dell'amplificatore a Bassa Frequenza a volte, detta bobina veniva alimentata da un apposito alimentatore che non partecipava all'alimentazione dell'apparecchio amplificatore.

In base alla moderna realizzazione dell'altoparlante dinamico, come si nota alla figura 11-**B**, il campo magnetico è determinato da un magnete permanente di una lega speciale (Alnico) che consente una notevole intensità di campo con dimensioni e peso ridotti.

La tecnica moderna ha permesso la realizzazione di altoparlanti le cui caratteristiche consentono la riproduzione fedele delle frequenze comprese tra 20 e 16.000 Hz., e, come vedremo a proposito degli impianti ad alta fedeltà, è possibile ottenere un ottimo rendimento montando contemporaneamente unità magneto-dinamiche di notevoli dimensioni destinate alla riproduzione delle frequenze basse, ed unità di piccole dimensioni destinate invece alla riproduzione delle frequenze acute. La differenza tra tali tipi di unità consiste nel diverso dislocamento della frequenza di risonanza rispetto allo spettro delle frequenze che lo altoparlante è in grado di riprodurre.

Esistono delle unità magnetodinamiche di dimensioni relativamente ridotte, che possono sviluppare notevoli potenze acustiche grazie all'accoppiamento ad una « tromba » sagomata in modo da accentuare il rendimento. Tali tipi di altoparlanti prendono il nome di altoparlanti a **tromba esponenziale:** essi hanno un responso alla frequenza generalmente limitato alla voce umana, per cui vengono quasi esclusivamente utilizzati per gli impianti di amplificazione destinati allo uso all'aperto, in occasione di discorsi pubblici, ecc. Altre unità infine, di dimensioni tali che il diametro massimo non supera i 50 mm, vengono usate per la realizzazione di cuffie con membrana di materia plastica. Esse vengono utilizzate in sostituzione delle cuffie magnetiche per ragioni speciali, come ad esempio per il controllo da parte degli operatori durante le radiotrasmissioni o le registrazioni sonore, dato che consentono una riproduzione fedele dell'intera gamma.

L'altoparlante elettrostatico

L'uso di questo altoparlante è limitato a pochi casi speciali a causa della sua delicatezza e dell'alta tensione necessaria per la polarizzazione. Tuttavia, esso ha notevoli prerogative come riproduttore delle frequenze acustiche elevate, in casi di esigenze meccaniche ed elettriche limitate. Il suo costo è notevolmente inferiore a quello del tipo dinamico. L'altoparlante elettrostatico non presenta frequenze di risonanza pronunciate nella gamma compresa tra 7 kHz, e 20 kHz, gamma per la quale viene adottato.

In pratica esso consiste in un condensatore costituito da due elettrodi (**figura 12**). La membrana *A*, normalmente costituita da un sottile foglio di metallo o di materia plastica metallizzata, costituisce uno degli elettrodi, ed è fissata alle estremità nei punti *B* e *C*. L'elettrodo posteriore *D*, realizzato con una piastrina metallica di un certo spessore, costituisce la seconda armatura e si trova a distanza minima dalla membrana. La tensione di polarizzazione applicata tra *A* e *D*, crea una reciproca attrazione elettrostatica che tende ad unire le due armature. Dal momento che soltanto *A* è abbastanza flessibile da muoversi, essa flette nel centro, ma è impossibilitata a toccare l'altro elettrodo a causa della sua rigidità meccanica.

Il potenziale a c.c. di polarizzazione è indispensabile, così come è indispensabile la presenza, ad esempio, di un magnete permanente in una cuffia, in quanto il segnale a c.a. viene — a seconda della polarità delle semionde — a sommarsi o a sottrarsi alla d.d.p. esistente.

Dal momento che quest'ultima tende già a rendere concava la membrana, questa, per effetto del segnale, si avvicina o alla posizione di riposo (quando il segnale si sottrae dalla polarizzazione) o dall'elettrodo fisso (quando il segnale si somma alla polarizzazione).

SIMBOLI - ABBREVIAZIONI

E_A = Tensione di picco del segnale modulante
E_{MAX} = Tensione di picco massima di una portante modulata
E_{MIN} = Tensione di picco minima di una portante modulata
E_R = Tensione di picco della portante
f_A = Frequenza del segnale modulante
f_C = Frequenza della portante
f_L = Frequenza della banda laterale inferiore
f_S = Frequenza della banda laterale superiore
FM = Modulazione di frequenza (« Frequency Modulation »)
M = Percentuale di modulazione
MA (AM) = Modulazione di ampiezza (« Amplitude Modulation »)
PM = Modulazione di fase (« Phase Modulation »)
t = Tempo
$\Delta\varphi$ = Variazione di un angolo di fase
φ = Angolo di fase

FORMULE

$$M = \frac{E_{MAX} - E_{MIN}}{E_{MAX} + E_{MIN}} \times 100$$

$\Delta F = \Delta\varphi \, f \cos (2\pi ft)$

Per modulazione del 50%:

$E_A = E_R : 2$
$E_{MAX} = 3E_A$
$E_{MIN} = E_R : 2$

Per modulazione del 100%:

$E_A = E_R$
$E_{MAX} = 2E_R = 2E_A$
$E_{MIN} = 0$

SEGNI SCHEMATICI

 = Microfono in genere

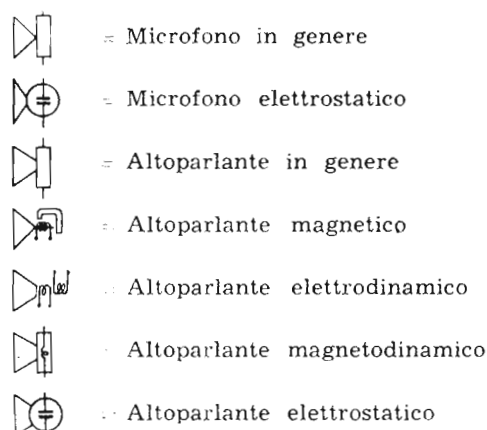
 = Microfono elettrostatico

 = Altoparlante in genere

 = Altoparlante magnetico

 = Altoparlante elettrodinamico

 = Altoparlante magnetodinamico

 = Altoparlante elettrostatico

DOMANDE sulle LEZIONI 61ª e 62ª

N. 1 —
Quali sono le caratteristiche di un'onda portante, sulle quali si interviene per effettuare la modulazione?

N. 2 —
In quale modo si verifica la modulazione di ampiezza?

N. 3 —
Come può essere definita la percentuale di modulazione di un'onda portante?

N. 4 —
Quante e quali sono le frequenze che compongono un'onda modulata in ampiezza?

N. 5 —
In quale parte di una portante modulata è contenuta l'informazione, ossia il segnale a Bassa Frequenza intelligibile?

N. 6 —
Quale è lo svantaggio principale della modulazione di ampiezza, in confronto alla modulazione di frequenza?

N. 7 —
Cosa accade in un'onda portante allorchè si applica una modulazione di frequenza?

N. 8 —
Cosa accade in un'onda portante allorchè si applica una modulazione di fase?

N. 9 —
Per quale motivo, nella modulazione di ampiezza, la potenza modulante non deve essere superiore alla metà della potenza da modulare (ossia della potenza della portante)?

N. 10 —
Per quale motivo i segnali provenienti da un microfono a carbone possono essere riprodotti anche senza amplificazione?

N. 11 —
Quale è il compito del trasformatore microfonico?

N. 12 —
Quali sono i tipi di microfono che non possono essere impiegati senza un trasformatore microfonico?

N. 13 —
Quale è il compito del trasformatore « linea-griglia »?

N. 14 —
Per quale motivo le vibrazioni della membrana di un microfono elettrostatico si traducono in segnali elettrici?

N. 15 —
Quale è il compito del magnete permanente in un microfono dinamico o a nastro?

N. 16 —
Quale è la differenza tra un microfono panoramico, uno bidirezionale, ed uno a cardioide?

N. 17 —
Quale è la differenza tra un altoparlante elettrodinamico ed un altoparlante magnetodinamico?

N. 18 —
Quale è il compito della bobina mobile in un altoparlante dinamico?

RISPOSTE alle DOMANDE di Pag. 473

N. 1 — Il funzionamento di un trasformatore di Bassa Frequenza deve svolgersi su tutta la gamma delle frequenze audio, e non sulla sola frequenza della tensione di rete.

N. 2 — Per il fatto che, pur consentendo un guadagno se il rapporto di trasformazione è in salita, la caratteristica non lineare della reattanza alle varie frequenze, e l'aggiunta della capacità distribuita tra gli avvolgimenti, rende la curva di responso meno lineare che non con uno stadio ad accoppiamento RC.

N. 3 — Mediante l'accoppiamento attraverso un trasformatore di uscita.

N. 4 — Trasformare in notevoli impulsi di corrente, gli impulsi di tensione che si manifestano ai capi dell'avvolgimento primario.

N. 5 — Certamente, in quanto il secondario può essere provvisto di varie prese, corrispondenti a vari valori di impedenza. Naturalmente il prodotto tra tensione e corrente resta in ogni caso costante.

N. 6 — Fornire alle due griglie delle valvole finali due segnali contemporanei e sfasati reciprocamente di 180°.

N. 7 — L'impedenza reale e l'impedenza riflessa non sono eguali tra loro. La seconda è il rapporto tra la tensione presente ai capi del primario e la corrente che lo percorre, derivanti dal carico al secondario e dal rapporto di trasformazione.

N. 8 — Se il trasformatore è in salita, l'impedenza riflessa è minore dell'impedenza di carico, e viceversa.

N. 9 — Un autotrasformatore consta sempre di un unico avvolgimento, provvisto di almeno una presa intermedia.

N. 10 — Perchè, ferma restando la potenza dissipabile al secondario, può essere realizzato con un notevole risparmio di rame e di ferro nei confronti del primo.

N. 11 — No. La corrente circolante e solo quella proporzionale alla reattanza dell'avvolgimento offerta alla frequenza della tensione di rete.

N. 12 — No. Nel funzionamento come riduttore le correnti in gioco sono di minore intensità.

N. 13 — Alla differenza tra la corrente primaria e la corrente secondaria. Anche ciò contribuisce all'economia dell'autotrasformatore, in quanto consente la realizzazione degli avvolgimenti con un conduttore più sottile di quello necessario in un trasformatore avente le medesime caratteristiche di funzionamento.

N. 14 — No. La potenza in gioco è la sola potenza di trasformazione. Ciò è dovuto al fatto che il circuito primario e quello secondario hanno in comune una parte dell'avvolgimento, nel quale — come sappiamo — le correnti si sottraggono agli effetti pratici, pur continuando ad esercitare la loro influenza agli effetti del trasferimento di energia.

TABELLA 68 — VALORI TIPICI per STADI di AMPLIFICAZIONE del tipo RC

Facciamo seguito alla tabella 67, riportata alla lezione 60ª e relativa agli stadi di amplificazione del tipo RC utilizzanti i triodi. La tabella che pubblichiamo ora riporta, invece, i valori tipici di funzionamento dei pentodi più comuni impiegati in tali circuiti. Le due serie di tabelle forniscono complessivamente dati pratici di progetto relativi ad oltre 50 tipi di valvole tra le più correnti.

INDICE

Tipo di valvola	Gruppo				
		6AU6	N	4BC5	P
		6SH7	N	6AG5	P
1DN5	L	12AU6	N	6BC5	P
1S5	L	5879(P)	O	6CB6	P
1U5	L	3BC5	P	6CB6-A	P
1U4	M	3BC6	P	6CF6	P
3AU6	N	3CF6	P	7199(P)	Q
4AU6	N	4CB6	P	12AY7	I

Per quanto riguarda la polarizzazione delle griglie schermo, si noti che i valori elencati si riferiscono esclusivamente al sistema con resistenza di caduta in serie. Questo sistema, allorchè lo schema ne consente l'applicazione, così come il metodo di polarizzazione con resistenza in serie al catodo, presenta diversi vantaggi rispetto al sistema di polarizzazione fissa. Tali vantaggi sono: attenuazione delle possibili differenze tra valvola e valvola; possibilità di funzionamento su un'ampia gamma di tensione di alimentazione anodica senza notevole variazione del guadagno; facile variazione della frequenza di taglio inferiore dell'amplificatore e, infine, attenuazione della tendenza all'innesco di oscillazioni su frequenze basse.

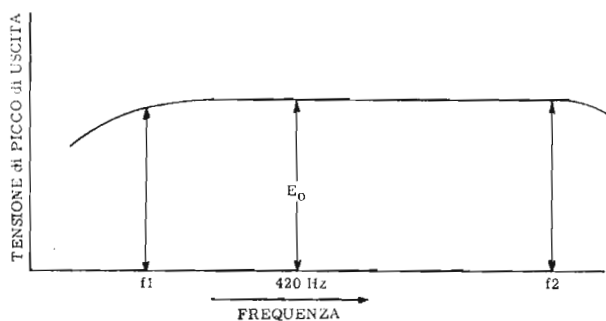
I vantaggi di cui sopra possono essere accentuati mediante l'aggiunta di filtri adeguati di disaccoppiamento nel circuito di alimentazione anodica di ogni singolo stadio dell'amplificatore. Adottando i filtri in questione è possibile alimentare tre o più stadi dallo stesso alimentatore di tipo convenzionale, senza incontrare con ciò alcuna difficoltà dovuta ad accoppiamenti desiderati con altri stadi, attraverso l'alimentatore.

Se non vengono adottati filtri di disaccoppiamento, non è possibile, con lo stesso alimentatore, alimentare più di due stadi di amplificazione.

I simboli adottati, sono analoghi a quelli della tabella 67, e, con l'aggiunta di quelli relativi ai pentodi, sono i seguenti:

C = Capacità di accoppiamento, in µF.
C_{g2} = Capacità di griglia schermo (tra G_2 e massa), in µF.
C_k = Capacità catodica (in parallelo ad R_k), in µF.
E_{bb} = Tensione anodica di alimentazione, da non confondere con la tensione presente direttamente sulla placca. Questa è data da E_{bb} meno la caduta di tensione che si manifesta ai capi di R_p e di R_k. È espressa in volt.
R_{g2} = Resistenza di polarizzazione di schermo, in Mohm.
R_k = Resistenza di polarizzazione di catodo, in ohm.
R_g = Resistenza di griglia (di fuga), in Mohm.
R_p = Resistenza di placca, in Mohm.
VG = Guadagno di tensione con uscita di 5 volt eff. a meno che non sia diversamente specificato.

E_o = Tensione di picco di uscita in volt. Detta tensione si manifesta ai capi di R_g dello stadio successivo in corrispondenza di qualsiasi frequenza compresa nel tratto lineare della curva di responso. Ciò è subordinato alle condizioni che sussistono allorchè l'ampiezza del segnale è tale da variare la tensione di griglia dello stadio RC fino al punto in cui la griglia stessa inizia ad assorbire corrente.

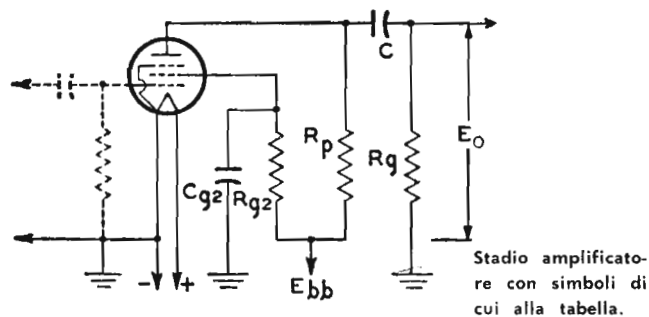
N.B. Per tensioni di alimentazione anodica che differiscono del 50 per cento da quelle considerate nelle tabelle, i valori delle resistenze e delle capacità, nonchè quelli del guadagno di tensione, sono approssimativamente esatti. Tuttavia, il valore della tensione di uscita, corrispondente ad uno qualsiasi di tali differenti valori, equivale alla tensione di uscita elencata, moltiplicata per il rapporto tra la tensione anodica differente e quella corrispondente al medesimo valore elencato.

Curva di responso degli stadi a resistenza-capacità, i cui valori di progetto sono raggruppati nelle tabelle 67 e 68. La tensione di uscita è riferita, come si vede, a 420 Hz, mentre « f 1 » ed « f 2 » sono le frequenze, rispettivamente più bassa e più alta, entro le quali si desidera mantenere l'amplificazione nei limiti indicati nel testo.

AMPLIFICATORE a PENTODO (riscal. diretto)

Le capacità C e C_{g2} sono state scelte con valori tali da dare una tensione d'uscita pari a 0.8 x E_o, per una frequenza f_1 di 100 Hz. Per qualsiasi altro valore di f_1, moltiplicare i valori di C e di C_{g2} per il rapporto di 100 : f_1.

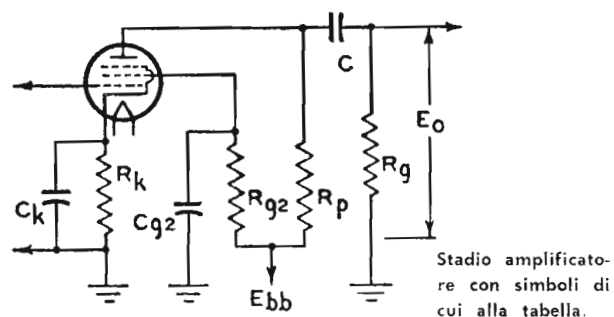
La tensione d'uscita corrispondente a f_1 per un numero « n » di stadi eguali tra loro equivale a $(0,8)^n$ x E_o, nella quale E_o rappresenta la tensione di picco dello stadio finale.

Per un amplificatore di costruzione convenzionale, e per valori R_p di 0,1 - 0,25 e 0,5 Mohm, i valori approssimativi di f_2 sono rispettivamente di 20.000, 10.000 e 5.000 Hz. Si noti che i valori della capacità di ingresso alla griglia, in microfarad, e della resi-

Stadio amplificatore con simboli di cui alla tabella.

stenza di griglia, in Megahom, devono essere tali che il loro prodotto sia compreso tra 0,02 e 0,1. Valori tipici sono rispettivamente 0,005 μF e 10 Mohm.

AMPLIFICATORE a PENTODO (riscal. indiretto)

Le capacità C, Ck e C_{g2} sono state scelte con valori tali da consentire un'uscita pari a 0,7 × E_o, con una frequenza f_1 di 100 Hz. Per qualsiasi altro valore di f_1 moltiplicare tali valori per il rapporto 100 : f_1. Per quanto riguarda la capacità Ck, i valori elencati nelle tabelle sono riferiti all'accensione del filamento mediante corrente continua. Se l'accensione ha luogo invece con una corrente alternata, a seconda delle caratteristiche dei circuiti associati, del guadagno di tensione, e del valore di f_1, può essere necessario aumentare il valore di Ck allo scopo di ridurre il rumore di fondo. Può anche essere utile dare al filamento un potenziale positivo compreso tra 15 e 40 volt rispetto al catodo.

Stadio amplificatore con simboli di cui alla tabella.

La tensione d'uscita relativa alla frequenza f_1, per un numero « n » di stadi eguali tra loro, equivale $(0,7)^n$ x E_o, nella quale E_o è la tensione di picco di uscita dello stadio finale.

Per un amplificatore tipico, e per valori di R_p pari a 0,1 - 0,25 e 0,5 Mohm, i valori approssimativi di f_2 sono rispettivamente 20.000 - 10.000 e 5.000 Hz.

E_{bb}	R_p	R_g	R_{g2}	R_k	C_{g2}	C_k	C	E_o	V.G.
90	0.1	0.24	–	1800	–	–	–	13	24
	0.24	0.51	–	3700	–	–	–	14	26
	0.51	1.0	–	7800	–	–	–	16	27
180	0.1	0.24	–	1300	–	–	–	31	27
	0.24	0.51	–	2800	–	–	–	33	29
	0.51	1.0	–	5700	–	–	–	33	30
300	0.1	0.24	–	1200	–	–	–	58	28
	0.24	0.51	–	2300	–	–	–	30	30
	0.51	1.0	–	4800	–	–	–	56	31

GRUPPO "I"

Valvola

12AY7•■

▲ Si veda alla lezione 59ª

• Sezione triodo, ovvero una delle unità.

■ Guadagno di tensione misurato con uscita di 2 volt eff.

GRUPPO "L"

Valvole
1S5
1U5
1DN5

Ebb	Rp	Rg	Rg2	Rk	Cg2	Ck	C	Eo	V.G.
45	0.22	0.22	0.26	–	0.042	–	0.013	14	17
		0.47	0.36	–	0.035	–	0.006	17	24
		1.0	0.4	–	0.034	–	0.004	18	28
	0.47	0.47	0.82	–	0.025	–	0.0055	14	25
		1.0	1.0	–	0.023	–	0.003	17	33
		2.2	1.1	–	0.022	–	0.002	18	38
	1.0	1.0	1.9	–	0.019	–	0.003	14	31
		2.2	2.0	–	0.019	–	0.002	17	38
		3.3	2.2	–	0.018	–	0.0015	18	43
90	0.22	0.22	0.5	–	0.05	–	0.011	31	25
		0.47	0.59	–	0.05	–	0.006	37	34
		1.0	0.67	–	0.042	–	0.003	40	41
	0.47	0.47	1.2	–	0.035	–	0.005	31	37
		1.0	1.4	–	0.034	–	0.003	36	47
		2.2	1.6	–	0.031	–	0.002	40	57
	1.0	1.0	2.5	–	0.026	–	0.003	31	45
		2.2	2.9	–	0.025	–	0.002	36	58
		3.3	3.1	–	0.024	–	0.0012	38	66
135	0.22	0.22	0.66	–	0.052	–	0.011	45	31
		0.47	0.71	–	0.051	–	0.006	56	41
		1.0	0.86	–	0.039	–	0.003	60	54
	0.47	0.47	1.45	–	0.042	–	0.005	46	44
		1.0	1.8	–	0.034	–	0.003	54	62
		2.2	1.9	–	0.033	–	0.002	60	71
	1.0	1.0	3.1	–	0.03	–	0.003	45	56
		2.2	3.7	–	0.029	–	0.0015	53	76
		3.3	4.3	–	0.026	–	0.0014	56	88

Valvola
1U4

GRUPPO "M"

Ebb	Rp	Rg	Rg2	Rk	Cg2	Ck	C	Eo	V.G.
45	0.22	0.22	0.06	–	0.046	–	0.011	11	23
		0.47	0.07	–	0.045	–	0.006	15	33
		1.0	0.011	–	0.04	–	0.003	17	39
	0.47	0.47	0.34	–	0.025	–	0.005	13	34
		1.0	0.44	–	0.022	–	0.003	16	46
		2.2	0.5	–	0.022	–	0.002	18	55
	1.0	1.0	1.0	–	0.016	–	0.003	14	43
		2.2	1.0	–	0.016	–	0.002	17	51
		3.3	1.1	–	0.015	–	0.001	17	60
90	0.22	0.22	0.3	–	0.046	–	0.01	27	37
		0.47	0.36	–	0.04	–	0.006	36	54
		1.0	0.4	–	0.038	–	0.003	39	63
	0.47	0.47	0.9	–	0.027	–	0.0045	29	61
		1.0	1.0	–	0.023	–	0.003	35	82
		2.2	1.1	–	0.022	–	0.002	38	96
	1.0	1.0	1.9	–	0.02	–	0.0025	30	77
		2.2	2.0	–	0.02	–	0.002	35	98
		3.3	2.2	–	0.018	–	0.001	37	114
135	0.22	0.22	0.4	–	0.052	–	0.011	44	46
		0.47	0.49	–	0.037	–	0.005	55	71
		1.0	0.52	–	0.034	–	0.003	60	83
	0.47	0.47	1.1	–	0.029	–	0.0045	45	77
		1.0	1.3	–	0.023	–	0.003	53	106
		2.2	1.4	–	0.022	–	0.002	59	123
	1.0	1.0	2.3	–	0.021	–	0.0025	45	104
		2.2	2.5	–	0.019	–	0.0015	53	136
		3.3	2.9	–	0.016	–	0.001	56	163

Ebb	Rp	Rg	Rg2	Rk	Cg2	Ck	C	Eo	V.G.
		0.1	0.07	1800	0.11	9.0	0.021	25	52
	0.1	0.22	0.09	2100	0.1	8.2	0.012	32	72
		0.47	0.096	2100	0.1	8.0	0.0065	37	88
		0.22	0.25	3100	0.08	6.2	0.009	25	72
90	0.22	0.47	0.26	3200	0.078	5.8	0.0055	32	99
		1.0	0.35	3700	0.085	5.1	0.003	34	125
		0.47	0.75	6300	0.042	3.4	0.0035	27	102
	0.47	1.0	0.75	6500	0.042	3.3	0.0027	32	126
		2.2	0.8	6700	0.04	3.2	0.0018	36	152
		0.1	0.12	800	0.15	14.1	0.021	57	74
	0.1	0.22	0.15	900	0.126	14.0	0.012	82	116
		0.47	0.19	1000	0.1	12.5	0.006	81	141
		0.22	0.38	1500	0.09	9.6	0.009	59	130
180	0.22	0.47	0.43	1700	0.08	8.7	0.005	67	171
		1.0	0.6	1900	0.066	8.1	0.003	71	200
		0.47	0.9	3100	0.06	5.7	0.0045	54	172
	0.47	1.0	1.0	3400	0.05	5.4	0.0028	65	232
		2.2	1.1	3600	0.04	3.6	0.0019	74	272
		0.1	0.2	500	0.13	18.0	0.019	76	109
	0.1	0.22	0.24	600	0.11	16.4	0.011	103	145
		0.47	0.26	700	0.11	15.3	0.006	129	168
		0.22	0.42	1000	0.1	12.4	0.009	92	164
300	0.22	0.47	0.5	1000	0.098	12.0	0.007	108	230
		1.0	0.55	1100	0.09	11.0	0.003	122	262
		0.47	1.0	1800	0.075	8.0	0.0045	94	248
	0.47	1.0	1.1	1900	0.065	7.6	0.0028	105	318
		2.2	1.2	2100	0.06	7.3	0.0018	122	371

GRUPPO "N"

Valvole
3AU6
4AU6
6AU6
6SH7
12AU6
12SH7

Ebb	Rp	Rg	Rg2	Rk	Cg2	Ck	C	Eo	V.G.
		0.1			0.044	4.6	0.020	13	29
	0.1	0.22	0.35	1700	0.046	4.5	0.012	17	39
		0.47			0.047	4.4	0.006	20	47
		0.22			0.034	3.2	0.010	15	43
90	0.22	0.47	0.80	3000	0.035	3.1	0.005	21	59
		1.0			0.036	3.0	0.003	24	67
		0.47			0.021	1.8	0.005	21	59
	0.47	1.0	1.9	7000	0.022	1.7	0.003	25	75
		2.2			0.023	1.7	0.002	28	87
		0.1			0.060	7.4	0.020	24	39
	0.1	0.22	0.35	700	0.062	7.3	0.012	28	56
		0.47			0.064	7.2	0.006	33	65
		0.22			0.045	5.5	0.010	24	65
180	0.22	0.47	0.80	1200	0.046	5.3	0.005	31	87
		1.0			0.048	5.2	0.003	34	101
		0.47			0.033	3.5	0.005	27	98
	0.47	1.0	1.9	2500	0.034	3.4	0.003	32	122
		2.2			0.035	3.3	0.002	37	140
		0.1			0.075	10.8	0.020	25	51
	0.1	0.22	0.35	300	0.077	10.6	0.012	32	68
		0.47			0.080	10.5	0.006	35	83
		0.22			0.056	7.9	0.010	28	81
300	0.22	0.47	0.80	600	0.057	7.5	0.005	37	109
		1.0			0.058	7.4	0.003	41	123
		0.47			0.044	5.3	0.005	34	125
	0.47	1.0	1.3	1200	0.046	5.2	0.003	42	152
		2.2			0.047	5.1	0.002	48	174

Guadagno di tensione misurato con uscita di 1 volt eff., e con polarizzazione di 1 volt sulla griglia controllo.

Valvola
5879 *

GRUPPO "O"

GRUPPO "P"

Valvole
3BC5 ■
3CB6 ■
3CF6 ■
4BC5 ■
4CB6 ■
6AG5 ■
6BC5 ■
6CB6 ■
6CB6-A ■
6CF6 ■

Ebb	Rp	Rg	Rg2	Rk	Cg2	Ck	C	Eo	V.G.
90	0.22	0.22	0.67	1800	0.074	8.1	0.0096	11	143
		0.47	0.77	2000	0.068	7.6	0.0068	11	200
		1.0	0.8	1900	0.074	8.2	0.0055	11	241
	0.47	0.47	2.7	2000	0.049	7.2	0.005	12	250
		1.0	1.8	2900	0.060	6.3	0.0046	11	328
		2.2	2.1	2900	0.055	6.0	0.0041	11	435
	1.0	1.0	5.0	3900	0.034	4.4	0.0031	12	252
		2.2	5.0	4500	0.032	3.9	0.0031	11	345
		4.7	5.0	4700	0.033	3.9	0.0038	11	478
180	0.22	0.22	0.17	4000	0.087	6.8	0.011	15	128
		0.47	0.33	4400	0.058	6.2	0.0064	16	200
		1.0	0.43	4000	0.056	6.5	0.0052	16	251
	0.47	0.47	1.2	9000	0.028	3.2	0.0045	14	188
		1.0	1.2	8700	0.030	3.4	0.004	15	227
		2.2	2.3	10000	0.022	2.7	0.0035	15	222
	1.0	1.0	5.3	14000	0.016	1.9	0.0026	14	158
		2.2	5.7	15000	0.016	1.9	0.003	16	222
		4.7	5.9	17000	0.014	1.73	0.003	14	212
300	0.22	0.22	0.47	4000	0.057	6.9	0.0085	15	175
		0.47	0.47	5500	0.048	5.7	0.0063	15	200
		1.0	0.57	7000	0.041	4.8	0.005	15	200
	0.47	0.47	0.6	8000	0.042	4.3	0.0047	15	208
		1.0	0.6	8500	0.042	4.3	0.004	15	278
		2.2	0.63	9700	0.040	4.1	0.0042	16	303
	1.0	1.0	0.63	30000	0.021	1.5	0.0028	14	110
		2.2	0.73	35000	0.018	1.3	0.0027	15	114
		4.7	0.73	37000	0.016	1.2	0.003	15	131

■ Guadagno di tensione misurato con uscita di 2 volt eff.

Valvola
7199

GRUPPO "Q"

Ebb	Rp	Rg	Rg2	Rk	Cg2	Ck	C	Eo	V.G.
90	0.22	0.22	0.27	3300	0.058	4.2	0.0094	11	63
		0.47	0.36	4300	0.08	5.8	0.011	15	72
		1.0	0.4	5000	0.042	3.2	0.0048	17	83
	0.47	0.47	1.1	6000	0.034	2.7	0.0045	13	96
		1.0	1.8	4000	0.036	3.6	0 0037	15	140
		2.2	2.1	7000	0.023	2.2	0.0035	15	137
	1.0	1.0	3.0	10000	0.019	1.7	0.0029	14	112
		2.2	4.0	12000	0.016	1.5	0.0029	15	121
		4.7	4.0	17000	0.013	1.14	0.0038	15	116
180	0.22	0.22	0.3	3100	0.075	5.3	0.0102	16	71
		0.47	0.37	3400	0.058	4.7	0.0065	16	96
		1.0	0.22	3700	0.087	5.0	0.0055	18	81
	0.47	0.47	0.4	6000	0.035	2.8	0.0059	16	70
		1.0	0.6	4800	0.055	3.1	0.0041	17	100
		2.2	1.1	13000	0.0115	0.89	0.0017	17	80
	1.0	1.0	1.5	13000	0.031	1.54	0.0036	16	69
		2.2	1.8	15000	0.021	1.2	0.0029	19	85
		4.7	2.1	15000	0.018	1.24	0.0033	17	100
300	0.22	0.22	0.32	1400	0.138	9.7	0.0116	17	96
		0.47	0.32	3500	0.064	5.0	0.0065	17	96
		1.0	0.37	4000	0.053	4.5	0.0075	17	101
	0.47	0.47	0.42	4700	0.08	3.9	0.0058	18	71
		1.0	0.5	7400	0.058	2.6	0.0046	17	63
		2.2	0.49	8500	0.051	2.2	0.004	16	67
	1.0	1.0	1.1	11000	0.04	1.73	0.0033	17	60
		2.2	1.0	13000	0.039	1.55	0.0036	17	57
		4.7	1.0	14000	0.038	1.43	0.004	16	55